La ruta de México hacia una economía sustentable de baja intensidad de carbono

Contrato No. SE-S 09/2010

centro mario molina

Folio No. 001

PREPARADO POR:

CENTRO MARIO MOLINA
para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.

Dr. Mario Molina
Presidente

Ing. Carlos Mena Brito
Director ejecutivo

M. en C. Rodolfo Lacy Tamayo
Coordinador de programas y proyectos

M. en C. Claudia Octaviano
Economista

Ing. Marco Jano
Ingeniero de Proyecto

Erika Ortiz Sánchez
Economista

Ing. Linda Rivapalacio
Ingeniero de Proyecto

Folio No. 002

ÍNDICE

I Estado del arte de tecnologías de ahorro de energía en la industria y los servicios.. 22
I.1 Antecedentes.... 22
I.2 Cogeneración 23
I.2.1 Sistemas de cogeneración 25
I.2.1.1 Cogeneración con turbina de gas 27
I.2.1.2 Cogeneración con turbina de vapor 28
I.2.1.3 Cogeneración con motor alternativo 28
I.2.1.4 Cogeneración con microturbinas 29
I.2.1.5 Cogeneración con biomasa 29
I.2.1.6 Cogeneración con ciclo Rankine orgánico 29
I.2.1.7 Cogeneración con celdas de combustible 29
I.2.1.8 Celda de combustible de membrana de intercambio protónico o de membrana de electrolito polimérico 31
I.2.1.9 Celda de combustible alcalina 32
I.2.1.10 Celda de combustible de ácido fosfórico 33
I.2.1.11 Celda de combustible de carbonato fundido 33
I.2.1.12 Celda de combustible de óxido sólido 34
I.2.2 Aplicación de la cogeneración en la industria y los servicios 36
I.2.2.1 Sector petróleo y gas 36
I.2.2.2 Sector industrial 38
I.2.2.3 Sector servicios 39
I.3 Motores eléctricos.... 41
I.3.1 Tipos de motores 41
I.3.1.1 Motores de corriente alterna (CA) 42
I.3.1.2 Motores de corriente directa (CD) 43
I.3.2 Eficiencia de motores 44
I.3.2.1 Motores superconductores 44
I.3.2.2 Motores de imán permanente 44
I.3.2.3 Motores de reluctancia conmutada 44
I.3.2.4 Motores con rotor de cobre y motores de acero magnético 45
I.3.2.5 Motores de polo grabado 45
I.3.3 Controles de velocidad de motores 45
I.3.3.1 Motores de velocidades múltiples 45
I.3.3.2 Ajuste electrónico de velocidad 46
I.3.4 Sobredimensionamiento de sistemas de motores 46
I.3.5 Aplicación de los motores eléctricos eficientes en la industria y los servicios. 46
I.4 Compresores 48
I.4.1 Compresores de desplazamiento positivo 48
I.4.2 Compresores de tipo dinámico 49
I.4.3 Elemento motor primario 50
I.4.4 Sistemas de control 50
I.4.5 Ahorro de energía en compresores de aire 50

I.4.5.1 Fugas en los sistemas de compresión de aire 50
I.4.5.2 Recuperación de calor 51
I.4.5.3 Eficiencia en compresores..... 51
I.4.5.4 Sistema de distribución de aire..... 53
I.4.5.5 Aplicación de sistemas de aire eficientes en la industria y los servicios..... 53
I.4.6 Ahorro de energía en compresores de gas 54
I.4.6.1 Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos 54
I.5 Calentamiento de procesos y generación de vapor 57
I.5.1 Quemadores 57
I.5.1.1 Quemadores aire/oxígeno 58
I.5.2 Hornos 59
I.5.2.1 Reducción de fugas de aire en el horno y presión positiva en el horno 62
I.5.2.2 Sistemas de recuperación de calor residual para hornos 63
I.5.3 Calderas..... 64
I.5.3.1 Eliminación de gases disueltos en sistemas industriales..... 65
I.5.3.2 Turbinas de retro – presión..... 66
I.5.3.3 Quemadores de alta eficiencia 66
I.5.3.4 Trampas de vapor 67
I.5.3.5 Trampas mecánicas 67
I.5.3.6 Trampas termostáticas 68
I.5.3.7 Trampas termodinámicas 69
I.5.4 Intercambiadores de calor 71
I.5.4.1 Tipos de intercambiadores de calor 71
I.5.4.2 Intercambiadores de calor de doble tubo 71
I.5.4.3 Intercambiadores de calor de coraza y tubos..... 72
I.5.4.4 Intercambiadores de calor eficientes 72
I.5.4.5 Intercambiadores de calor de tubos torcidos..... 73
I.5.4.6 Intercambiadores de calor de placas y marco 73
I.5.5 Aplicación de los procesos de calentamiento en la industria y los servicios ... 75
I.6 Aislantes térmicos de tubería y equipos..... 76
I.6.1 Aplicaciones de aislantes en la industria 78
II Normatividad internacional para reducción de emisiones de gases de efecto invernadero..... 79
II.1 Antecedentes..... 79
II.1.1 Consideraciones generales de método 80
II.2 Panorama internacional 82
II.2.1 Normatividad internacional para el cambio climático elaborada por ISO 88
II.2.2 Normatividad a nivel internacional en eficiencia energética..... 91
II.3 Estados Unidos 99
II.3.1 Iniciativa de Ley Waxman-Markey..... 102
II.3.1.1 Iniciativa Kerry-Boxer 107
II.3.2 Ley para la recuperación y reinversión: asignaciones para la energía limpia promulgada en 2009..... 109

II.3.3 Ley sobre Independencia y Seguridad Energética de 2007 110
II.3.4 Ley de política energética de 2005 113
II.3.5 Políticas de promoción a las energías renovables a nivel estatal- estándares sobre portafolios de renovables 114
II.3.6 Nueva Regulación para el reporte de gases de efecto invernadero 115
II.3.7 Nuevas regulaciones para mejorar el cumplimiento de la normatividad en materia de eficiencia energética 115
II.3.8 Estándares de economía de combustible en la industria automotriz 2008-2011 115
II.3.9 Promoción de la energía geotérmica 116
II.4 Canadá 117
II.4.1 Ley de Implementación del Protocolo de Kioto 117
II.4.2 Programa de Acción para la Reducción de los Gases de Efecto Invernadero y la Contaminación del Aire 118
II.4.3 Programa ecoacción 119
II.4.3.1 Iniciativa ecoenergía 119
II.4.3.2 Iniciativa ecotransporte 120
II.4.3.3 Estrategia de combustibles renovables 121
II.5 Unión Europea 124
II.5.1 Esquema de comercio de emisiones 124
II.5.2 Reducción de emisiones en sectores fuera del ETS 125
II.5.3 Estándares para vehículos de pasajeros 125
II.5.4 Marco general para la captura y almacenamiento de carbono 126
II.5.5 Estándares de calidad para los combustibles 126
II.5.6 Promoción de la energía renovable 127
II.5.7 Directrices y Programas para aumentar la sustentabilidad del sector energía 127
II.5.7.1 Programa estratégico de tecnologías energéticas: hacia un futuro de bajo carbono 127
II.5.7.2 Directiva para la eficiencia energética de usos finales y los servicios de energía 128
II.5.7.3 Regulación sobre hfcs, pfcs y SF_6 128
II.5.7.4 Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico 129
II.5.7.5 Plataformas tecnológicas europeas 129
II.5.7.6 Iniciativa Conjunta de Tecnología para el Cielo Limpio 131
II.5.7.7 Directiva para la promoción de la Cogeneración 131
II.5.7.8 Directiva para el requerimiento de diseño ecológico de productos que requieren energía 131
II.6 Japón 138
II.6.1 Ley de Promoción de Medidas en contra del Cambio Climático 139
II.6.2 Plan de Acción para Lograr el Objetivo del Protocolo de Kioto 140
II.6.3 Plan de Acción Voluntario Keidanren 145

II.6.4 Ley de Conservación de la Energía 149
II.6.4.1 Fábricas 149
II.6.4.2 Edificios 149
II.6.4.3 Maquinaria y equipo 150
II.6.4.4 Transporte 150
II.6.5 Programa top runner 151
II.6.6 Ley para la Conservación de la Energía y Apoyo al Reciclaje 153
II.6.7 Sistema Voluntario de Comercio de Emisiones 154
II.7 China 157
II.7.1 Programa Nacional de Cambio Climático de China 157
II.7.1.1 Mitigación 158
II.7.2 Décimo primer Plan quinquenal para el Desarrollo Nacional Económico y Social de la República Popular de China 160
II.7.3 Ley de Energía Renovable 162
II.7.4 Plan de Desarrollo de Mediano y Largo Plazo para la Energía Renovable en China 163
II.7.5 Plan Nacional de Mediano y Largo plazo para el Desarrollo Científico y Tecnológico 164
II.7.6 Medidas de Operación y Manejo de los Proyectos MDL 165
II.9 India 169
II.9.1 Plan de Acción Nacional sobre el Cambio Climático 170
II.9.2 Ley de Conservación de la Energía 177
II.9.2.1 Departamento de Eficiencia Energética 178
II.10 Brasil 181
II.10.1 Ley 12.187 Política Nacional de Cambio Climático 181
II.10.2 Plan Nacional de Cambio Climático 181
II.10.3 Programa Nacional de Conservación de Energía (PROCEL) 183
II.10.4 Programa Nacional de racionalización del uso de los derivados del petróleo y del gas natural (CONPET) 183
II.10.5 Ley 737-1938. Declara Obligatoria la Adición de Alcohol Anhidro a la Gasolina 184
II.10.6 Ley N°11.097. Dispone la introducción del biodiesel a la matriz energética brasileña 184
II.10.7 Subastas de energía eólica y de energía generada con biomasa 184
II.10.8 Programa de Incentivos a Fuentes Alternativas de Electricidad - PROINFA 185
II.10.9 Ley 9.991. Regula las inversiones en investigación y desarrollo de eficiencia energética para empresas concesionarias y autorizadas del sector de energía eléctrica y otras medidas. 185
II.10.10 Declaración sobre Energía Limpia India-Brasil-Sudáfrica 185

III Estado del Arte de Tecnologías de Captura y Almacenamiento Geológico de Carbono 189

III.1 Antecedentes 189

III.2 Procesos industriales emisores de CO_2 191

III.2.1 Sector eléctrico 192

III.2.1.1 Plantas de carbón pulverizado 192
III.2.1.2 Ciclo combinado de gas natural (NGCC) 195
III.2.1.3 Ciclo Combinado con Gasificación Integrada (IGCC) 196
III.2.1.4 Plantas oxy-fuel 200

III.2.2 Sector cemento 200

III.2.3 Sector petróleo y gas 201

III.3 Tecnologías para la captura de CO_2 202

III.3.1.1 Captura post-combustión 203
III.3.1.2 Captura pre-combustión 212
III.3.1.3 Captura oxy-combustión 217
III.3.1.4 Ciclos químicos 217
III.3.1.5 Proyectos de investigación y desarrollo 218

III.4 Transporte de CO_2 221

III.5 Usos del CO_2 en la Industria Petrolera y Almacenamiento Geológico 225

III.5.1 Sumideros de CO_2 225

III.5.2 Características de los yacimientos para el almacenamiento geológico de CO_2 226

III.5.3 Monitoreo de CO_2 227

III.5.4 Mecanismo de captura geológica de CO_2 230

III.5.5 Proyecto Sleipner 230

III.5.6 Proyecto In Salah 232

III.5.7 Proyecto piloto Frio Brine 233

III.5.8 Recuperación mejorada de petróleo (EOR) 236

III.5.8.1 Proyecto IEA GHG Weyburn 236
III.5.8.2 Proyectos EOR en México 246

III.6 Análisis de Costos Internacionales 249

FIGURAS

Figura I.1Cogeneración a nivel mundial. 25
Figura I.2 a) Esquema de un sistema superior de cogeneración. b) Esquema de un sistema inferior de cogeneración. c) Esquema de ejemplo de sistema de ciclo combinado con cogeneración. 26
Figura I.3 Esquema de una celda de combustible. 31
Figura I.4 Celda de combustible de membrana de intercambio protónico. 32
Figura I.5 Celda de combustible alcalina. 32
Figura I.6 Celda de combustible de ácido fosfórico. 33
Figura I.7 Celda de combustible de carbonato fundido. 34
Figura I.8 Celda de combustible de óxido sólido. 35
Figura I.9 Planta de cogeneración en la refinería de Amberes. 37
Figura I.10 Planta de cogeneración en la refinería Carson. 37
Figura I.11 Planta de cogeneración en la refinería de Normandía. 38
Figura I.12 Planta de cogeneración en la planta Alholmen Kraft, Finlandia. 39
Figura I.13 Planta de cogeneración en el hospital infantil Dell, Estados Unidos. 40
Figura I.14 Motor de inducción. 42
Figura I.15 Clasificación de motores eléctricos. 43
Figura I.16 Compresor de una etapa de efecto doble enfriado con agua. 48
Figura I.17 Compresor centrífugo. 49
Figura I.18 Compresor de flujo axial. 49
Figura I.19 Sellos secos en compresores. 55
Figura I.20 Sello seco en tándem. 56
Figura I.21 Quemador de combustión mejorada con oxígeno. 58
Figura I.22 Diagrama de pérdidas de energía en un horno. 61
Figura I.23 Esquema de un horno con control de presión (superior) y esquema de un horno con presión negativa (inferior). 63
Figura I.24 Caldera de vapor. 64
Figura I.25 Equipo de eliminación de gases. Espreado (izquierda). Charolas (derecha). 66
Figura I.26 Trampas mecánicas. Cubeta invertida (superior) y Flotador y Termostática (inferior) 68
Figura I.27 Trampa termostática. 69
Figura I.28 Trampa termodinámica. 70
Figura I.29 Intercambiador de calor de doble tubo. 71
Figura I.30 Intercambiador de calor de coraza y tubos. 72
Figura I.31 Intercambiador de calor de tubos torcidos. 73
Figura I.32 Intercambiador de calor de placas y marco. 74
Figura I.33 Intercambiador de calor Packinox. 74

Figura II.1 Propuesta de la AIE. El papel del sector energía en la mitigación del cambio climático. Instrumentos y distribución internacional de las metas de mitigación 83
Figura II.2 Mitigación de emisiones en el sector de energía global 84
Figura II.3 Inversión mundial para la mitigación del cambio climático 85
Figura II.4 Propuesta de la AIE. Distribución sectorial de la mitigación de emisiones de GEI 85
Figura II.5 Propuesta AIE. Mezcla de tecnologías para la generación de electricidad a nivel internacional en el escenario de 450 ppm..... 87
Figura II.6 Participación mundial de las ventas de vehículos de pasajeros por tecnología e intensidad de CO_2..... 88
Figura II.7 Reducción de emisiones netas bajo la propuesta de “cap and trade” en el Congreso de EUA, 2005-2050 100
Figura II.8 Estados con estándares sobre portafolios de renovables 114
Figura II.9 Eficiencia de Combustible Automotriz en Países Seleccionados 116
Figura II.10 Organización gubernamental para política de cambio climático en Japón... 139
Figura II.11 Proceso de funcionamiento del Programa Top Runner 153
Figura II.12 Proyectos MDL registrados ante la UNFCCC por país..... 165
Figura II.13 Acuerdo Institucional sobre Cambio Climático en India..... 169
Figura II.14 Gasto en programas de adaptación en India..... 174
Figura III.1 Contribución de tecnologías para reducir las emisiones de CO_2. 189
Figura III.2 Esquema de las tecnologías de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles con bajas emisiones de gases de efecto invernadero. 191
Figura III.3 Ilustraciones de tecnologías de captura. 202
Figura III.4 Estatus de diversas tecnologías de captura de CO_2..... 203
Figura III.5 Diagrama de captura post-combustión..... 204
Figura III.6 Diagrama de flujo de proceso para capturar CO_2 utilizando aminas..... 206
Figura III.7 Fotografía de una planta en Malasia que utiliza el proceso KEPCO / MHI para capturar CO_2..... 208
Figura III.8 Diagrama de captura pre-combustión. 212
Figura III.9 Esquema de producción de gases. 214
Figura III.10 Proyecto piloto de ciclo químico. 218
Figura III.11 Transporte de CO_2 utilizando ductos. 221
Figura III.12 Generación, captura y almacenamiento de CO_2..... 226
Figura III.13 Proyecto Sleipner..... 230
Figura III.14 Información sísmica que revela la presencia de CO_2. 231
Figura III.15 Proyecto In Salah..... 232
Figura III.16 Proyecto Frio Brine en Texas, EU 233
Figura III.17 Saturación de CO_2 en el pozo de observación e inyección calculada a partir de los registros RST y comparada con los resultados del modelo. 234
Figura III.18 Comparación de la amplitud de reflexión (VSP). 234

Figura III.19 Imagen del cambio en velocidad de las ondas P y S a partir del estudio Crosswell. 235
Figura III.20 Comparación de la pluma modelada y la pluma medida por la sísmica Crosswell. 235
Figura III.21 Esquema y ubicación del proyecto Weyburn. 236
Figura III.22 Diagrama de la geología del campo Weyburn. 237
Figura III.23 Cuencas de petróleo y gas de México. 247
Figura III.24 Activos integrales de PEMEX: 248
Figura III.25 Costo de inversión para plantas de generación de energía eléctrica con carbón al año 2010. 249
Figura III.26 Costo total de las plantas de acuerdo con el DOE. 250
Figura III.27 Costo total de las plantas de acuerdo con el MIT. 252

TABLAS

Tabla I.1 Características de las celdas de combustible. 35
Tabla I.2 Ingenios azucareros que proporcionan electricidad a la red en Brasil. 38
Tabla I.3 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de compresores. 52
Tabla I.4 Descripción del equipo de calentamiento de procesos. 59
Tabla I.5 Características y aplicaciones de las trampas de vapor. 70
Tabla I.6 Materiales aislantes utilizados en la industria. 76
Tabla II.1 Indicadores críticos para alcanzar un escenario de estabilización atmosférica de 450 ppm 86
Tabla II.2 Normas Oficiales Mexicanas en Eficiencia Energética Vigentes 91
Tabla II.3 Resumen de la normatividad en materia de cambio climático y eficiencia energética 94
Tabla II.4 Iniciativas de Ley actuales en materia de cambio climático en el Congreso de los Estados Unidos 101
Tabla II.5 Metas de reducción de emisiones en la economía de E.U.A. 102
Tabla II.6 Distribución de Permisos en la propuesta de Ley “Waxman-Markey” 103
Tabla II.7 Algunos de los requisitos para acceder a los créditos de compensación por reducción de Deforestación en la propuesta de Ley “Waxman-Markey” 104
Tabla II.8 Objetivos y programas de mitigación en las provincias de Canadá 122
Tabla II.9 Normatividad en materia de cambio climático, energía y medio ambiente 132
Tabla II.10 Objetivos de reducción por gas del Plan de Acción para Lograr el Objetivo del Protocolo de Kioto 141
Tabla II.11 Presupuesto para el Plan de Acción para Lograr el Objetivo del Protocolo de Kioto 142
Tabla II.12 Medidas para la reducción de emisiones por sector 143
Tabla II.13 Metas y medidas de reducción en el Plan de Acción Voluntario Keidanren .. 146
Tabla II.14 Metas de eficiencia por tipo de vehículo 150
Tabla II.15 Resultados del Programa Top Runner 151
Tabla II.16 Normatividad en materia de cambio climático, energía y medio ambiente 154
Tabla II.17 Medidas y metas de mitigación para los GEI en China 158
Tabla II.18 Metas para la energía renovable en 2010 y 2020 163
Tabla II.19 Normatividad de China en materia de cambio climático, energía y medio ambiente 165
Tabla II.20 Programas de mitigación de la India 175
Tabla II.21 Estándares para la industria 177
Tabla II.22 Normatividad en materia de cambio climático, energía y medio ambiente de India 179
Tabla II.23 Normatividad de Brasil sobre cambio climático y eficiencia energética 186
Tabla III.1 Clasificación de los procesos de combustión. 193

Folio No. 0011

Tabla III.2 Condiciones de operación. 195
Tabla III.3 Proyectos demostrativos a nivel internacional para la generación de energía eléctrica a partir de diversas tecnologías. 197
Tabla III.4 Características principales del proyecto Schwarze Pumpe. 200
Tabla III.5 Solventes utilizados para absorción. 205
Tabla III.6 Procesos existentes que utilizan aminas para la captura de CO_2. 207
Tabla III.7 Ventajas, desventajas y R&D. 209
Tabla III.8 Tipos de Adsorbentes. 210
Tabla III.9 Características de membranas. 211
Tabla III.10 Ventajas y desventajas de los sistemas de absorción física. 215
Tabla III.11 Membranas de captura pre-combustión. 216
Tabla III.12 Resumen de las tecnologías avanzadas bajo investigación. 219
Tabla III.13 Experiencias en el transporte de CO_2 por ductos. 222
Tabla III.14 Técnicas de monitoreo geológico de CO_2. 227
Tabla III.15 Proyectos internacionales EOR. 240
Tabla III.16 Costos finales de las tecnologías analizadas por el estudio del Centro Mario Molina. 253
Tabla III.17 Costos de alternativas de generación eléctrica de diferentes estudios. 254
Tabla III.18 Resultados del estudio económico del Global CCS Institute. 256
Tabla III.19 Número de campos petroleros donde es posible llevar a cabo prácticas de recuperación mejorada. 257
Tabla III.20 Comparativo internacional de normas de eficiencia energética y etiquetados 258
Tabla III.21 Proyectos CCS registrados en la base de datos del CSLF. 285

Folio No. 0012

LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACELA	Ley de energìa limpia de los EUA (*American Clean Energy Leadership Act)*
AFC	Celda de Combustible Alcalina (*Alkaline Fuel Cell*)
AIE	Agencia Internacional de Energía *(International Energy Agency)*
ANP	Área Natural Protegida
ARRA	Ley para la Recuperaciòn y Reinversión de los EUA (*American Recovery and Reinvestment Act)*
ASU	Unidad de fraccionamiento de aire (*Air Separation Unit*)
BEE	Oficina de Eficiencia Energética (*Bureau of Energy Efficiency*)
BEG	Oficina de Geología Económica (*Bureau of Economic Geology*) de la Escuela Jackson de Geociencias de la Universidad de Texas en Austin
BFBC	Caldera de Lecho Fluidizado Burbujeante (*Bubbling Fluidized Bed Combustion*)
BGL	British Gas/Lurgi
BS_1KW	Clima semiseco subtipo templado con lluvias en verano
CA	Corriente Alterna
CAFE	Eficiencia promedio del rendimiento del combustible (*Corporate Average Fuel Economy)*
CBM	Metano de yacimientos de carbón (*Coal-bed methane*)
CCGN/NGCC	Ciclo Combinado de Gas Natural (*Natural Gas Combined Cycle*)
CCS	Captura y almacenamiento de carbono (*Carbon Capture and Storage*)
CD	Corriente Directa
CDMF	Fondo de Mecanismo de Desarrollo Limpio (*Clean Development Mechanism Fund*)
CEJAP	Ley del Trabajo de Energìa Limpia (*Clean Energy Jobs and American Power Act)*
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CER	Certificado de reducción de emisiones *(Certified Emission Reductions)*
CFB	Carboeléctricas de lecho fluidizado circulantes (*Circulating Fluidized Bed*)
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CLASP	Programa Colaborativo de Etiquetado y Estándares (*Collaborative Labeling and Standards Program)*
CMM	Metano asociado a gases en minas de carbón (*Coal-mine methane*)
CNCCP	Programa Nacional de Cambio Climático de China (*China's National Climate Change Programme*)
CONPET	Programa Nacional de racionalización del uso de los derivados del petróleo y del gas natural (*Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural*)
CONUEE	Consejo Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
COP	Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (*Conference of Parties*)
CSLF	Foro de Liderazgo en Secuestro de Carbono (*Carbon Sequestration Leadership Forum*)
DOE	Departamento de Energía de los Estados Unidos (*U.S. Department of Energy*)
DOE/EERE	Eficiencia Energética y Energía Renovable del Departamento de Energía de

	Estados Unidos
ECCJ	Centro de Conservación de Energía de Japón (*Energy Conservation Center, Japan)*
EOR	Recuperación Mejorada de Petróleo (*Enhanced Oil Recovery*)
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (*Environmental Protection Agency de EUA*)
ESP	Precipitado electrostático (*Electrostatic Precipitator*)
ETS	Esquema de comercio de emisiones (*Emission Trading System*)
EUA	Estados Unidos de América
FAO	Organización para la Agricultura y la Alimentación (*Food and Agriculture Organization*)
FEEST	Federación Europea de Energía Solar Térmica
FGD	Desulfuración de gases de combustión (*Flue gas desulfurzation*)
GEE	*General Electric Energy*
GEI	Gases de Efecto Invernadero *(Greenhouse Gases)*
HRSG	Generador de Vapor por Recuperación de Calor (*Heat Recovery Steam Generator*)
HTW	Proceso Winkler de alta temperatura *(High Temperature Winkler)*
IEC	Comisión Internacional Electrotécnica (*International Electrotechnical Commission)*
IEEJ	Instituto de Economía Energética de Japón (*Institute of Energy Economics, Japan*)
IETA	Asociación Internacional de Comercio de Emisiones (*International Emissions Trading Association)*
IGCC	Ciclo Combinado con Gasificación Integrada (*Integrated Gasification Combined Cycle*)
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)
ISO	Organización Internacional para la Estandarización International (*Organization for Standardization*)
JCCCA	Centro para las Acciones de Cambio Climático de Japón (*Japan Center for Climate Change Actions*)
JI	Implementación conjunta (*Joint Implementation*)
JVETS	Sistema Voluntario de Comercio de Emisiones (*Japan's Voluntary Emissions Trading Scheme*)
LBNL	Laboratoro Nacional Lawrence Berkeley (*Lawrence Berkeley National Laboratory*)
LLNL	Laboratoro Nacional Lawrence Livermore (*Lawrence Livermore National Laboratory*)
MCFC	Celda de Combustible de Carbonato Fundido (*Molten Carbonate Fuel Cell*)
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
METI	Secretaria de Economía, Comercio e Industria (*Ministry of Economy, Trade and Industry*)
MHI	Industrias Pesadas de Mitsubishi *(Mitsubishi Heavy Industries Ltd)*
MIT	Instituto Tecnológico de Massachesetts **(***Massachusetts Institute of Technology)*
MLIT	Secretaría de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo (*Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)*
NAICS	Sistema de Clasificación Industrial de Norte América (*North American*

	Industrial Classification System)
NAMAs	Medidas de Mitigación Nacionalmente Adecuadas *(Nationally Appropriate Mitigation Measures)*
NAPCC	Plan de Acción Nacional para el Cambio Climático de India (*National Action Plan on Climate Change*)
NEDO	Organización para el Desarrollo Tecnológico Industrial y de Nuevas Tecnologías (*New Energy and Industrial Technology Development Organization*)
NEMA	Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas (*National Electrical Manufacturers Asociation*)
NETL	Laboratoro Nacional de Tecnología en Energía (*National Energy Technology Laboratory*)
NREL	Laboratorio Nacional de Energías Renovables (*National Renewable Energy Laboratoy*)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ORNL	Laboratorio Nacional Oak Ridge (*Oak Ridge National Laboratory*)
PAFC	Celda de Combustible de Ácido Fosfórico (*Phosphoric Acid Fuel Cell*)
PBMR	Reactor modular de lecho de bolas (*Pebble Bed Modular Reactor Limited*)
PC	Carbón Pulverizado (*Pulverized Coal*)
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PEIS	Declaración Programática de Impacto Ambiental *(Programmatic Environmental Impact Statement)*
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PEMFC	Celda de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*)
POISE	Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico
PROCEL	Programa Nacional de Conservación de Energía (*Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*)
PROINFA	Programa de Incentivos a Fuentes Alternativas de Electricidad (*Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica*)
PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PTRC	Centro de Investigación de Tecnología Petrolera (*Petroleum Technology Research Centre*)
REEP	Asociación de Energía Renovable y Eficiencia Energètica *(Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership)*
RFS	Estándar de Combustible Renovable (*Renewable Fuel Standard)*
RGGI	Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero (*Regional Greenhouse Gas Iniciative*)
RPS	Estándares de portafolios de renovables (*Renewable Portfolio Standards*)
RST	Herramienta de control de saturación de yacimiento (*Reservoir Saturation Tool*)
SBSTA	Órgano subsidiario para asesoramiento científico y técnico (*Subsidiary Body for Science and Technological Advice*)
SCNR	Reducción selectiva no-catalítica (*Selective non - catalytic reduction*)
SCR	Reducción catalítica selectiva (*Selective catalytic reduction*)
SENER	Secretaria de Energía de México

SET	(*European Strategic Energy Technology Plan*)
SOFC	Celda de Combustible de Óxido Sólido (*Solid Oxide Fuel Cell*)
TCG	Grupo del Clima (*Climate Group)*
UE	Unión Europea
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*United Nations Framework Convention on Climate Change*)
USAID	Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (*United States Agency for International Development*)
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (*United States Department of Agriculture*)
VCS	Estándar de carbón voluntario (*Voluntary Carbon Standard)*
VSP	Perfil símico vertical (*Vertical seismic profile*)
WBCSD	Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sustentable (*World Business Council for Sustainable Development)*
WCI	Iniciativa de la Región Oeste para la Acción Climática
WEC	Consejo Mundial de Energía (*World Energy Council*)
WMO	Organización Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization*)
WRI	Instituto de Recursos Mundiales (*World Resourses Institute)*

Folio No. 0016

La Ruta de México hacia una Economía Sustentable de Baja Intensidad de Carbono

El objetivo del presente estudio es proporcionar a la Secretaría de Energía información e instrumentos analíticos actualizados para el diseño de estrategias y acciones que permitan avanzar en la transición energética hacia una economía próspera de muy bajas emisiones de gases de efecto invernadero. El diseño de la ruta de México hacia una economía sustentable de baja intensidad de carbono requiere de la aplicación de las más actualizadas técnicas de modelación para el análisis de sistemas complejos, de tal forma que se logre integrar las variables ambientales y su interacción con el sistema energético nacional. Con este fin durante el año 2010, se desarrollará un modelo de la economía mexicana y se integrará al modelo global de economía y cambio climático del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)[1]. Con esta herramienta y una revisión del estado del arte en cuanto a tecnologías e instrumentos económicos y normativos, se apoyará a la Secretaria de Energía en la definición de las políticas y acciones pertinentes para establecer la ruta de México hacia una economía de bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

El presente documento constituye la primera entrega programada para el estudio durante el año 2010. Incluye como primer capítulo una evaluación del estado del arte de tecnologías para el uso eficiente de la energía y el ahorro de energía en la industria y los servicios. Dicho documento describe los avances tecnológicos relevantes para México en materia de cogeneración, motores eléctricos, calentamiento de procesos y generación de vapor, y de aislamiento térmico de tuberías y equipos. En el segundo capítulo, se presenta una revisión de normatividad internacional para reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Se presenta en dicho apartado un panorama internacional sobre el papel que debe jugar el sector energía en la mitigación del cambio climático, considerando los análisis de la Agencia Internacional de Energía, así como el avance de los países y regiones seleccionados: Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea, China, India y Brasil. Finalmente, el tercer capítulo presenta una revisión del estado del arte de tecnologías para captura y secuestro de carbono. La evaluación del potencial de aplicación de esta tecnología en México es crítica para la planeación del sector energía. Dicho capítulo describe los procesos industriales emisores de CO_2, las tecnologías para su captura, así como aspectos de transporte y almacenamiento geológico. La sección concluye con un análisis de costos actuales de la tecnología la captura y almacenamiento geológico del bióxido de carbono.

La segunda entrega, programada para el 1° de julio del 2010, presenta una evaluación del estado del arte de las tecnologías para el ahorro de energía en el consumo final (transporte y vivienda), de las energías renovables y sobre el estado actual en el mundo de los instrumentos económicos para reducir las emisiones de GEI. Simultáneamente, el CMM trabaja con el Programa Conjunto de Ciencia y Política del Cambio Global del MIT para la integración del modelo macroeconómico para el país. Con base en el análisis de las tecnologías disponibles, así como de los instrumentos de política pública disponibles, se evaluarán propuestas de políticas de mitigación en México utilizando el modelo de economía y cambio climático para México, que considera sus interacciones macroeconómicas más relevantes con el sistema económico y energético mundial.

1 Dicho modelo fue seleccionado en la primera fase del estudio, realizada durante el 2009, por representar el estado del arte en las técnicas de modelación a nivel internacional. El modelo ISGM-EPPA es un modelo de valoración integrada que permite evaluar políticas de mitigación y sus impactos macroeconómicos.

Folio No. 0017

Con base en el resultado de estos estudios la Secretaría de Energía contará con información e instrumentos fundamentales para establecer la estrategia del sector energético para conducir a México por la ruta de una economía próspera y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

Folio No. 0018

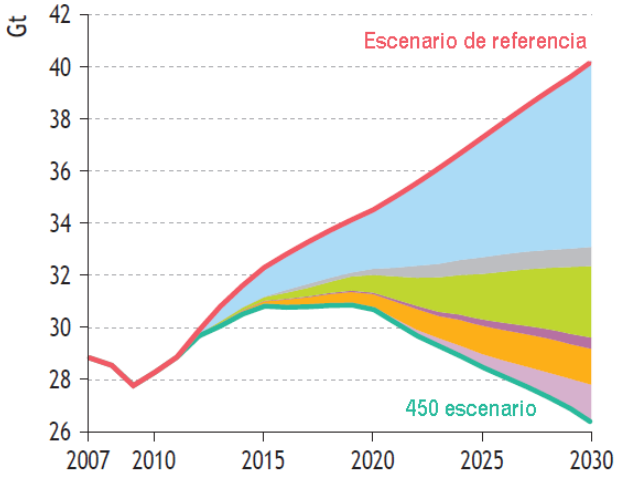
INTRODUCCIÓN

Hoy en día la humanidad enfrenta un gran desafío. Ante la realidad del calentamiento global, es necesario transformar los sistemas de producción y consumo de energía para crear una economía de baja intensidad de carbono. Es indispensable y urgente desacoplar el crecimiento económico del consumo de combustibles fósiles, para evitar que la concentración de gases de efecto invernadero alcance niveles que dañen irreversiblemente los sistemas climáticos.

Ningún país puede por si solo resolver este problema; es obligada la colaboración de todos y México ha jugado un papel importante para impulsar acuerdos internacionales que hagan posible esta profunda transformación. México puede reafirmar su papel de liderazgo en el mundo en desarrollo dando los pasos necesarios para demostrar que es posible transitar hacia una economía de bajo carbono, sin sacrificar los objetivos de crecimiento y bienestar para su población. Para ello es fundamental mejorar la eficiencia energética de todas las actividades económicas, aprovechando los avances tecnológicos ya disponibles y los recursos energéticos renovables que existen en este país.

A nivel internacional, el reto que impone el cambio climático implica una transformación radical en la forma en que actualmente se satisface la demanda de energía en el mundo. Como ejemplo, la Agencia Internacional de Energía ha estimado que para lograr detener el calentamiento global se requiere una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial de 34% en el nivel agregado de emisiones esperadas al año 2030. La Agencia estima una distribución de la carga de mitigación como se muestra en la Figura 1.

Figura. Mitigación de emisiones en el sector de energía global



	Abatimiento ($Mt\ CO_2$)		Inversión (Dólares 2008, miles de millones)	
	2020	2030	2010-2020	2021-2030
Eficiencia	2 517	7 880	1 999	5 586
Uso final	2 284	7 145	1 933	5 551
Plantas de energía	233	735	66	35
Renovables	680	2 741	527	2 260
Biocombustibles	57	429	27	378
Nuclear	493	1 380	125	491
CCS	102	1 410	56	646

Fuente: (IEA, 2009: 17)

Como se muestra en la figura, se requiere de una amplia penetración de las tecnologías para eficientar el uso final de energía por los consumidores y en las plantas de energía. Se espera que el renglón de eficiencia energética aporte la mayor parte de la reducción de emisiones GEI. La inversión para lograr esta reducción de emisiones es también la

más importante de acuerdo con los estimados de la Agencia. En segundo lugar, se encuentra la adopción de tecnologías renovables para la generación de electricidad, con un monto de inversión muy importante particularmente en el periodo 2021-2030. Otras tecnologías como la energía nuclear y la promoción de la captura y secuestro de carbono también jugarán un papel fundamental a nivel mundial. Particularmente para el periodo de largo plazo posterior al 2030 estas tecnologías son indispensables para los objetivos de estabilización, por lo que es necesario considerarlas en los escenarios de planeación.

Estos datos agregados a nivel mundial requieren de un análisis detallado a nivel nacional. Se requiere definir escenarios de crecimiento y rutas de desarrollo económico y tecnológico sustentables que permitan a México tener una posición competitiva con alta eficiencia energética y baja intensidad de carbono. Las opciones tecnológicas deben ser evaluadas en el contexto nacional y en particular definir los costos de las tecnologías necesarias y su implementación en el país. La modelación económica permite integrar estos elementos en marcos analíticos sistematizados para la toma de decisiones. En forma paralela, la evaluación de los instrumentos de política pública adecuados debe diseñarse considerando la experiencia internacional y el contexto actual de las negociaciones internacionales a fin de lograr los objetivos ambientales sin perjuicio para el desarrollo nacional.

México requiere diseñar su política energética considerando las tendencias mundiales, los recursos con que cuenta y sus compromisos para avanzar en la protección de la atmósfera. Los escenarios mundiales de la energía están cambiando rápidamente desde finales del siglo pasado. El incremento de los precios del petróleo, los conflictos militares y el acelerado crecimiento de las economías asiáticas son algunos de los eventos que afectan los mercados mundiales de la energía. Adicionalmente, los acuerdos mundiales logrados alrededor del fenómeno del cambio climático, como el Protocolo de Kioto, inducen a realizar un uso más eficiente de la energía e introducir de manera acelerada fuentes renovables o de baja intensidad de carbono para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

Para desacoplar en México el incremento de las emisiones de CO_2 del desarrollo económico, es necesario aplicar de manera agresiva tecnologías probadas que hasta el momento no han tenido una penetración importante. Tal es el caso de automóviles híbridos con altos rendimientos de combustible, la producción de biocombustibles avanzados, como el etanol celulósico, o las plantas de generación de electricidad con procesos de gasificación de carbón o coque de petróleo, habilitadas con sistemas de captura y almacenamiento geológico de carbono.

Ante esta realidad, México enfrenta, en el mediano plazo, una situación de desventaja e inseguridad energética debido a su ineficiencia energética, al decaimiento en la producción petrolera y a la creciente importación de gasolinas, de gas natural y de carbón. No obstante, su crecimiento poblacional y las necesidades sociales que es necesario satisfacer, mantienen una demanda creciente de energía, que en muchos sentidos requiere ser limpia, segura y sustentable. De hecho, México no puede incrementar su competitividad a nivel internacional ni atraer inversiones productivas, si no aumenta de manera significativa la eficiencia de sus empresas de energía y de la economía en su conjunto, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

La relativa ineficiencia energética de nuestra economía representa hoy en día una gran oportunidad para transformarla en una economía de bajo carbón, aprovechando las tecnologías de ahorro hoy disponibles y las fuentes renovables de energía que no conllevan emisiones de CO_2.

Folio No. 0020

Para definir la ruta de esta profunda transformación es necesario, ampliar los horizontes de planeación de la energía en México, conocer el estado del arte en el mundo de las tecnologías energéticas y de las estrategias de mitigación, conocer las oportunidades de mitigación en los diferentes sectores económicos del país y disponer de modelos económicos para evaluar los costos y los beneficios de diferentes escenarios de desarrollo. El presente trabajo constituye un primer bloque de insumos para el diseño de la ruta de México hacia una economía de bajo carbono

Folio No. 0021

I Estado del arte de tecnologías de ahorro de energía en la industria y los servicios

I.1 Antecedentes

El ahorro de energía representa una de las estrategias más importantes para disminuir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. En este capítulo se presenta el resultado de un análisis internacional del estado del arte de las tecnologías disponibles para ahorrar energía en la industria y los servicios, con énfasis en su posible aplicación en México. Se han seleccionado cinco áreas de oportunidad tecnológica con base en su potencial de utilización en México, éstas son: la cogeneración, los motores eléctricos, los compresores, el calentamiento de procesos y la generación de vapor y el aislamiento térmico de tuberías y equipos.

Estas tecnologías tienen un gran potencial de aplicación en México y pueden contribuir significativamente a que México se encamine a una ruta de bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

Folio No. 0022

I.2 Cogeneración

La cogeneración se define como la producción simultánea de potencia (ya sea eléctrica o mecánica) y calor útil (por ejemplo vapor de proceso) usando el calor de rechazo de un proceso como insumo energético de otro, de modo tal de usar dos veces la energía del combustible.

Si bien, en la industria de proceso la mayor parte de los equipos mecánicos son generalmente operados por motores eléctricos, cada vez es más frecuente el uso de turbinas operadas por vapor, gases de combustión o corrientes de proceso de alta presión, lo que permite una mayor economía en la planta desde el punto de vista del consumo de energéticos.

En la industria actual, una cantidad importante de energía eléctrica es generada por sistemas de cogeneración instalados dentro de la misma planta. La importancia cada vez mayor de ciclos de cogeneración se debe a que permite duplicar la eficacia del proceso de generación de potencia, por lo que ofrece un gran potencial para el ahorro de energéticos primarios.

Una cantidad considerable de la energía eléctrica que se emplea en las industrias de proceso se produce en las plantas termoeléctricas por medio de generadores impulsados por turbinas de vapor. La eficiencia de conversión de la energía de combustión de los energéticos primarios en los ciclos empleados en las plantas termoeléctricas no es mayor de 35% y rara vez excede el 30%. Si se consideran las pérdidas por transmisión, distribución y operación de los motores, la eficiencia total se reduce a menos del 22%. Esta baja eficiencia se debe a que en las plantas termoeléctricas no es posible aprovechar la energía térmica que aún contiene el vapor descargado por las turbinas, por lo que es necesario condensar el vapor y disipar el calor a la atmósfera, a través de torres de enfriamiento o de condensadores atmosféricos.

En las industrias de proceso, por otra parte, es posible utilizar la energía térmica del vapor de baja presión descargado por las turbinas, lo que permite elevar considerablemente la eficiencia térmica del ciclo, volviéndose atractiva la generación de fuerza motriz dentro de la misma planta para la operación de equipo de proceso, en lugar de importar energía eléctrica generada fuera de esta. La cogeneración de vapor de proceso y de fuerza motriz ofrece, por lo tanto, evidentes ventajas económicas y su uso está cada vez más extendido.

En muchas industrias se utiliza no solo energía eléctrica sino también calor para el proceso de producción cuyo agente más común en el vapor de agua. Dentro de estas industrias las que utilizan el sistema de cogeneración de algún tipo o en las que es más factible su aplicación son la cervecera, la papelera, los ingenios azucareros, la petroquímica y la refinación del petróleo.

No obstante que desde el punto de vista técnico resulta conveniente el sistema de cogeneración, la implantación de estos arreglos no muestra una tendencia continua a lo largo del tiempo desde el inicio de su utilización. Esto obedece a las fluctuaciones en los precios de los combustibles y del equipo involucrado.

Es así como a principios del siglo XX, el 50% de la energía eléctrica generada en los Estados Unidos, provenía de las plantas de cogeneración. Sin embargo para mediados del siglo el porcentaje cayó al 15%. Esto se debió al bajo costo del combustible, lo que provocó que las plantas termoeléctricas, además de proporcionar un servicio más

Folio No. 0023

confiable ofrecían energía eléctrica a precios aún más bajos que lo que le costaría a la empresa generarla. Para los últimos años de la década de los sesentas el porcentaje cayó hasta el 5%, siendo las únicas empresas que cogeneraban aquellas que utilizaban como combustible desperdicios de su proceso productivo, haciendo de esta manera más económica la generación de energía eléctrica.

Una de las razones por las que los sistemas iniciales de cogeneración no fueron del todo costeables es que funcionaban bajo el concepto de energía total. Esto supone la independencia respecto a la compañía suministradora de energía eléctrica, lo cual ocasionaba una baja eficiencia en la operación, ya que como no es posible mantener uniforme la demanda de calor y energía eléctrica y es necesario diseñar una planta que produzca la energía requerida aún en los picos de demanda, ésta no operará normalmente a plena carga que es cuando se obtiene la máxima eficiencia.

Entre los beneficios de la cogeneración están los siguientes:

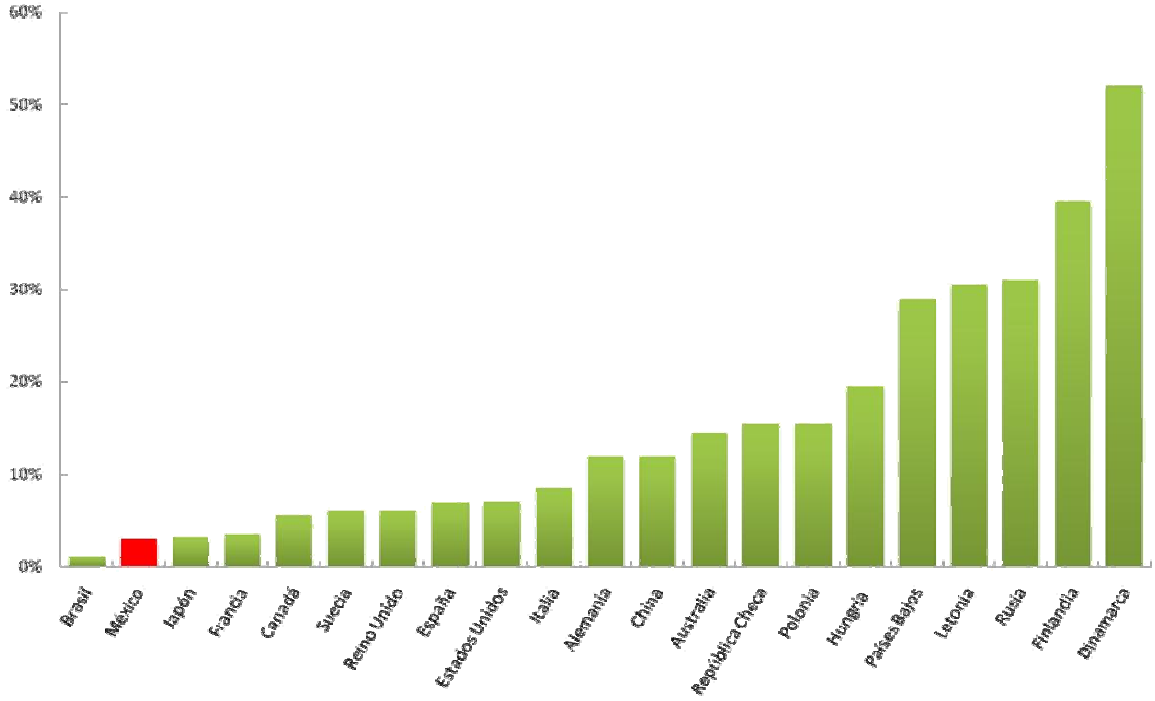
- Duplica la eficiencia respecto a una planta termoeléctrica convencional.
- Al ser más eficiente reduce la emisión de contaminantes y de gases de efecto invernadero.
- Reduce los requerimientos de las líneas de transmisión y las pérdidas asociadas con éstas.
- Mejora la confiabilidad del sistema al disminuir el requerimiento de carga a la red eléctrica.
- Produce considerables ahorros económicos.

En México se han hecho modificaciones a la ley para facilitar y promover el uso de la cogeneración, por lo que es de esperarse un incremento notable en su utilización, sobre todo en plantas nuevas. Se trata de la forma más importante de ahorrar energía en la industria pues casi duplica la eficiencia, pero en general requiere de inversiones significativas que no siempre se justifican para procesos existentes.

De acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía (*IEA por sus siglas en inglés*), a nivel internacional, la cogeneración representa el 9% de la generación total de energía y ha sido considerada como una alternativa para incrementar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La Figura I.1muestra la aportación de la cogeneración a la generación total de energía eléctrica para varios países. En países como Finlandia y Dinamarca la utilización de la cogeneración llega a ser mayor al 30%, mientras que para México solo es del 4.5%.

Folio No. 0024

Figura I.1Cogeneración a nivel mundial.



Fuente: (Centro Mario Molina, 2009).

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), el potencial de cogeneración en México es de 10,164 MW. La CONUEE identifica al sector industrial, azucarero y del petróleo y gas como potenciales para la aplicación de la cogeneración con un posible ahorro de energía anual de 66.7 millones de barriles de petróleo equivalente, reduciendo las emisiones de CO_2 en 8.7 millones de toneladas de CO_2 por año. A continuación se presentan las tecnologías de cogeneración que pueden ser aplicadas en el país.

I.2.1 Sistemas de cogeneración

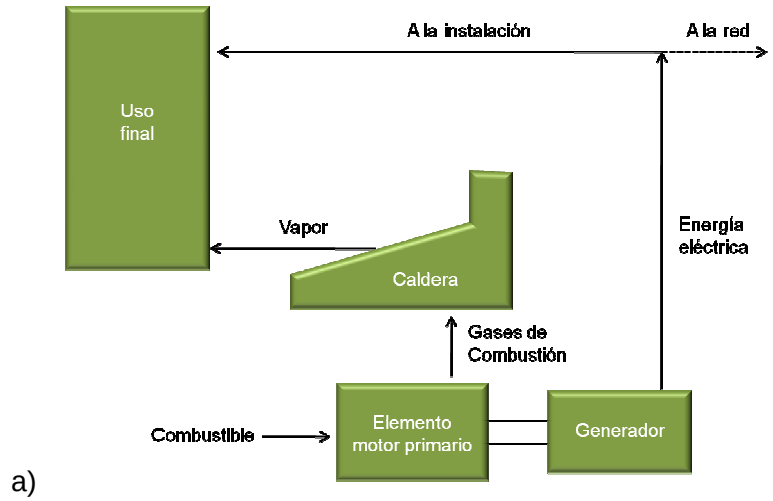
Los sistemas de cogeneración pueden clasificarse de acuerdo con el arreglo de la producción de electricidad y calor en sistemas superiores (*Topping cycles*) e inferiores (*Bottoming cycles*). Los sistemas superiores son los más comunes y utilizan el calor residual producto de la generación de electricidad para producir vapor utilizable en procesos. Los sistemas inferiores utilizan directamente la energía generada para satisfacer las necesidades térmicas de los procesos, mientras que el calor residual se utiliza para la generación de electricidad.

Una configuración especial que está basada en sistemas superiores y que es utilizada en la industria eléctrica es el ciclo combinado. En un ciclo combinado de gas natural, el gas natural es quemado en turbinas de gas que a su vez generan electricidad. Los gases de combustión que salen de la turbina de gas son aprovechados para la generación de vapor y el accionamiento de turbinas de vapor que generan electricidad adicional. El

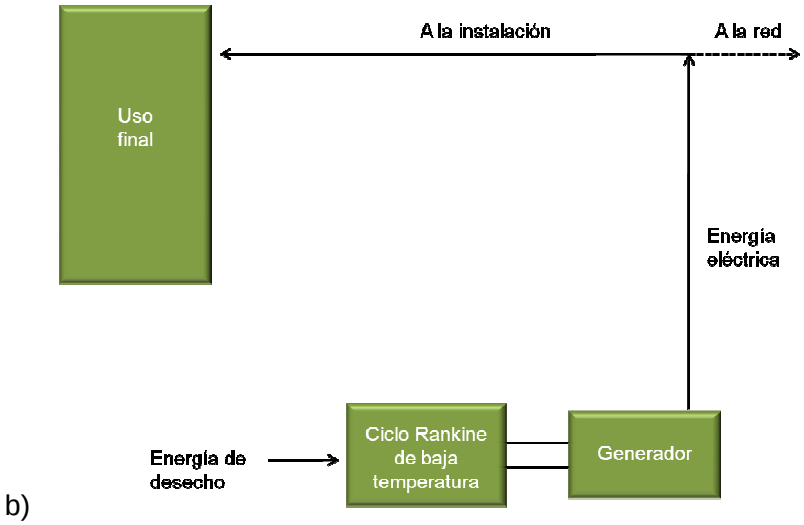
Folio No. 0025

condensado producto de la turbina de gas puede ser aprovechado para procesos que requieren menor temperatura y para sistemas de calefacción en edificios.

Figura I.2 a) Esquema de un sistema superior de cogeneración. b) Esquema de un sistema inferior de cogeneración. c) Esquema de ejemplo de sistema de ciclo combinado con cogeneración.

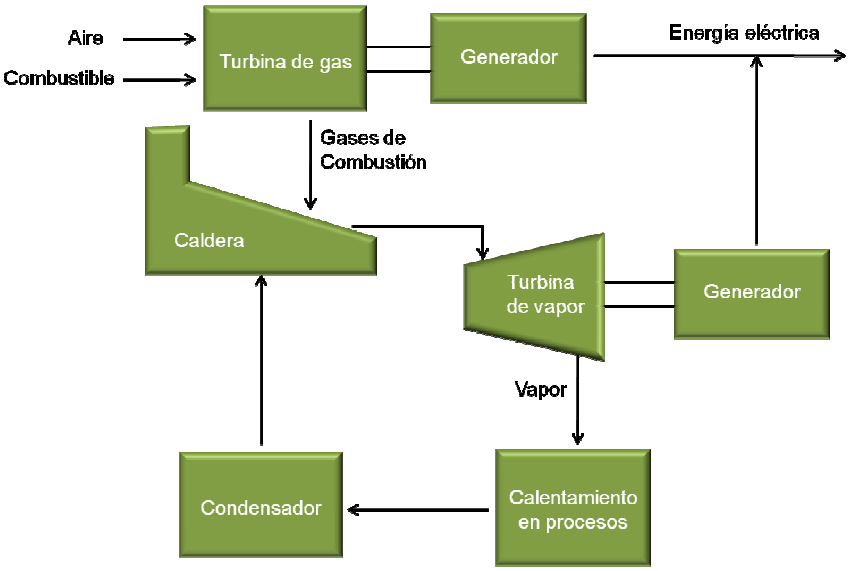


a)



b)

c)



Fuente: (Kutz, 2007)

Los sistemas de cogeneración básicamente están formados por los siguientes elementos:

1) Elemento motor primario: Son los equipos que transforman la energía contenida en los combustibles (gas natural, combustóleo, gasóleo) en energía mecánica que posteriormente accionará generadores eléctricos. Los equipos incluyen turbinas de gas, turbinas de vapor y motores de combustión interna (ciclo otto, ciclo diesel).
2) Sistema de aprovechamiento de la energía mecánica: La energía mecánica generada por el elemento anterior, es transformada en energía eléctrica por generadores eléctricos.
3) Sistema de aprovechamiento de calor: Los equipos principales de aprovechamiento de calor utilizados en los sistemas de cogeneración incluyen dispositivos utilizados en instalaciones de producción de calor o agua caliente.

I.2.1.1 Cogeneración con turbina de gas

Las turbinas de gas se presentan como una opción limpia y eficiente de generación de electricidad. Una turbina está compuesta básicamente por un compresor, una cámara de combustión, la turbina, el reductor y el generador. El compresor prepara el aire que será utilizado en la cámara de combustión. El combustible es quemado y los gases de combustión son aprovechados para accionar la turbina. Las turbinas pueden clasificarse dependiendo del uso que se les dé (aeroderivadas o industriales) o de su construcción (un solo eje o dos o más ejes).

Turbinas aeroderivadas. Este tipo de turbinas es utilizado principalmente en la industria aeronáutica. Las turbinas aeroderivadas pueden tener una potencia de 50 kW y por ello son más ligeras y poseen un rendimiento eléctrico mayor que las turbinas industriales.

Turbinas industriales. Para aplicaciones industriales, las turbinas pueden tener una potencia desde 100 kW hasta 300 MW. Este tipo de turbinas son utilizadas continuamente y requieren menos mantenimiento.

Turbinas de un solo eje. Este tipo de turbinas posee un solo eje que acciona al compresor y al generador.

Turbinas de dos ejes. Estos sistemas consisten en una turbina de alta presión ligada a un compresor de aire y una turbina de baja presión en un eje separado que genera la potencia de salida.

La eficiencia térmica de estos equipos aumenta a medida que aumenta el tamaño y se encuentra entre 21 y 45%. Los gases de combustión que salen de la turbina se encuentran a altas temperaturas (500 – 600℃) y pue den producir vapor en un generador HRSG o ser utilizados para procesos de secado. El ciclo simple con la turbina de gas y el generador de vapor es confiable y económicamente rentable para procesos que requieren vapor. Si la cantidad de vapor generada por el ciclo simple no es suficiente, se pueden agregar quemadores post-combustión que utilizan los gases de escape de la turbina. Estos sistemas se aplican principalmente en instalaciones en las que la relación entre las necesidades térmicas y eléctricas es mayor a 2.

I.2.1.2 Cogeneración con turbina de vapor

Estos sistemas utilizan calderas convencionales para generar el vapor de alta presión que se expande en una turbina de vapor para generar trabajo mecánico y posteriormente energía eléctrica. La eficiencia eléctrica en estos sistemas es entre 15% para unidades pequeñas y 35% para unidades más grandes y avanzadas. La eficiencia global depende de la configuración del sistema, pero puede llegar a ser del 85 – 90%.

Las turbinas de vapor se clasifican en: turbinas de contrapresión, de extracción y de condensación. Para el primer caso de turbina, el vapor generado sale de la turbina y se envía directamente a los procesos que lo requieren sin contar con un condensador u otros equipos como torres de enfriamiento. En las turbinas a extracción o condensación, se puede extraer una parte del vapor en distintos puntos de la turbina, de manera que se obtiene vapor a presiones diferentes para utilizarse en procesos. El vapor no extraído se expande a lo largo de la turbina y sale de la misma para ser condensado. Estos sistemas se aplican principalmente en instalaciones en las que la relación entre las necesidades térmicas y eléctricas es mayor a 4.

I.2.1.3 Cogeneración con motor alternativo

Este sistema de cogeneración utiliza como combustible gas, diesel o combustóleo y está basado en la generación de vapor de baja presión y en el aprovechamiento del agua de refrigeración del motor. Los motores más comunes empleados en este sistema son los motores de combustión interna (ciclo Otto o Diesel). La eficiencia eléctrica se encuentra entre 25 – 45%, mientras que la eficiencia global entre 60 – 85%. Este tipo de sistema es conveniente para potencias bajas (hasta 15 MW).

Folio No. 0028

I.2.1.4 Cogeneración con microturbinas

Las microturbinas son básicamente plantas de poder miniatura, autocontenidas, que tienen muchas aplicaciones industriales y comerciales, además de que sus emisiones a la atmósfera son muy bajas. Estos sistemas entraron en servicio recientemente y tienen aplicaciones en pequeñas industrias, hoteles, restaurantes, clínicas, centros de salud. La energía generada por estos sistemas va desde 30 kW hasta 1.2 MW en paquetes múltiples. Estos dispositivos utilizan combustibles líquidos o gaseosos incluyendo gas amargo de pozos petroleros, gas metano y gases provenientes de rellenos sanitarios. La eficiencia eléctrica se encuentra entre 20 – 30%, mientras que la eficiencia global entre 70 y 80%.

I.2.1.5 Cogeneración con biomasa

La biomasa incluye residuos agrícolas, desechos animales, residuos de madera, residuos de la industria de los alimentos y del papel, desechos municipales verdes, lodos de aguas residuales, cultivos como eucalipto, caña de azúcar, sorgo, maíz. La biomasa puede ser quemada para producir electricidad y vapor. Existen muchas opciones tecnológicas que se han demostrado en varios países utilizando diferentes materias primas. Dentro de estas tecnologías se encuentra la de lecho fluidizado, y en particular la de lecho fluidizado circulante, que presenta flexibilidad en los combustibles que pueden ser quemados. Los sistemas de cogeneración con biomasa pueden producir vapor a 540℃ y alcanzar una eficiencia eléctrica del 33 – 34% (PCI). Otra opción considerada y para la cual existen experiencias en Holanda y Suecia, es la utilización de la gasificación de biomasa para su conversión a gas de síntesis.

I.2.1.6 Cogeneración con ciclo Rankine orgánico

La diferencia entre un ciclo Rankine orgánico y un ciclo tradicional, radica en que para el primer caso se utiliza un fluido orgánico (hidrocarburos como iso pentano, iso octano, tolueno o fluidos de silicona) en lugar de agua. Estos fluidos orgánicos vaporizan a una temperatura menor, por lo que pueden ser adecuados para procesos en los que se quemen combustibles de baja temperatura de combustión como la biomasa.

Los gases de combustión que se generan a partir de la combustión de biomasa, transfieren su energía a un aceite que a su vez evapora el fluido orgánico. El fluido orgánico es expandido en una turbina y posteriormente se condensa utilizando agua que puede ser aprovechado en procesos que requieran energía.

I.2.1.7 Cogeneración con celdas de combustible

Las celdas de combustible presentan una opción muy eficiente con muy bajas emisiones y están basadas en la inversión de la electrólisis del agua. La electrólisis del agua es el proceso de descomposición de la molécula en hidrógeno y oxígeno mediante corriente eléctrica. En el proceso inverso, el oxígeno y el hidrógeno reaccionan generando electricidad y calor.

Folio No. 0029

Existen 5 tipos de celdas de combustible que se distinguen por las temperaturas a las que operan y por el tipo de electrolito que utilizan.

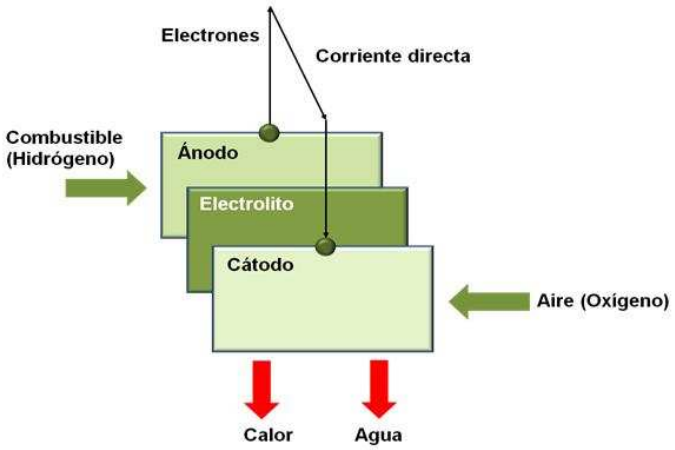
1) Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC)
2) Celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC)
3) Celda de combustible de carbonato fundido (MCFC)
4) Celda de combustible de óxido sólido (SOFC)
5) Celda de combustible alcalina (AFC)

Las temperaturas de operación varían de 25℃ a 980° C y la eficiencia eléctrica varía entre 30 y 50% (PCS). Las aplicaciones de las celdas de combustible en cogeneración se basan en la generación de electricidad y la recuperación y utilización del calor residual generado. Generalmente el calor se recupera en forma de agua caliente y vapor de baja presión, pero la calidad del calor depende del tipo de celda de combustible utilizada y su temperatura de operación.

Los sistemas de celdas de combustible para aplicaciones de cogeneración son sistemas que funcionan principalmente a base de gas natural o gas LP. Cada sistema está compuesto por tres subsistemas principales

1) Celda de combustible. Una celda de combustible está formada por un cátodo (electrodo cargado positivamente), un ánodo (electrodo cargado negativamente), un electrolito y una carga externa. El ánodo provee la interfase entre el combustible y el electrolito, además del camino por el cual se mueve la corriente hacia el circuito externo. El cátodo provee la interfase entre el oxígeno y el electrolito, además del camino por el cual se mueve la corriente desde el circuito externo. El electrolito separa al hidrógeno y oxígeno y es un medio iónico conductivo. El hidrógeno y el oxígeno se alimentan a los electrodos correspondientes y en el ánodo el hidrógeno se disocia con la ayuda de un catalizador en iones hidrógeno (H^+) y electrones libres (e^-). Los iones fluyen hacia el cátodo y reaccionan con el oxígeno y electrones libres para generar agua.
2) Procesador de combustible. Produce el hidrógeno utilizado por la celda. En aplicaciones de generación distribuida, las tecnologías de celdas de combustible más viables utilizan gas natural como fuente de combustible. Para que las celdas de combustible puedan manejar el gas natural, requieren un procesador de combustible o reformador, que convierte el gas natural u otro combustible en una corriente rica en hidrógeno. Existen tres tipos de reformadores: reformadores de vapor, reformadores autotérmicos y reformadores de oxidación parcial. Esta clasificación se basa en el elemento utilizado para liberar hidrógeno del combustible. Los reformadores autotérmicos utilizan vapor y oxígeno, mientras que los reformadores de oxidación parcial utilizan oxígeno y los de vapor utilizan vapor.
3) Condicionador de potencia que procesa la energía eléctrica a corriente alterna o corriente directa regulada. La celda de combustible genera electricidad de corriente directa, lo que requiere su acondicionamiento antes de servir en una aplicación de generación distribuida. Dependiendo del área de la celda y del número de celdas, la corriente directa es de aproximadamente 200 a 400 volts por pila. El subsistema levanta el voltaje de la corriente y un inversor electrónico genera la corriente alterna.

Figura I.3 Esquema de una celda de combustible



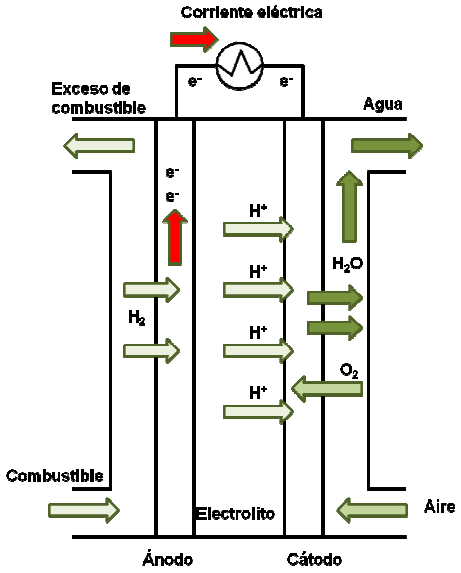
Fuente: (IEA, 2007b)

Existen cinco tipos de celdas de combustible consideradas para aplicaciones de generación distribuida. El electrolito define el tipo de celda de combustible. Las celdas de combustible de membrana de electrolito polimérico y de ácido fosfórico poseen electrolitos ácidos y dependen del transporte de iones H^+. Las celdas de combustible alcalinas y las celdas de combustible de carbonato, dependen del transporte de iones OH^- y CO_3^{2-} respectivamente. Las celdas de combustible de óxido sólido se basan en un electrolito cerámico de estado sólido en el que los iones oxígeno (O^{2-}) son los iones de transporte. Las temperaturas de operación de los cinco tipos de celdas varían y para el caso de celdas que conducen protones, el agua se genera en el cátodo mientras que para las demás se genera en el ánodo.

I.2.1.8 Celda de combustible de membrana de intercambio protónico o de membrana de electrolito polimérico

Este tipo de celda de combustible utiliza un polímero sólido como electrolito y electrodos de carbono poroso que contienen platino (catalizador). Su ventaja radica en que posee bajo peso y volumen, por lo que es factible para ser utilizada en vehículos de pasajero. En los últimos 10 años, ha recibido gran atención por parte de los medios, debido a la gran inversión hecha por la industria automotriz al desarrollo de este tipo de celda de combustible.

Figura I.4 Celda de combustible de membrana de intercambio protónico.

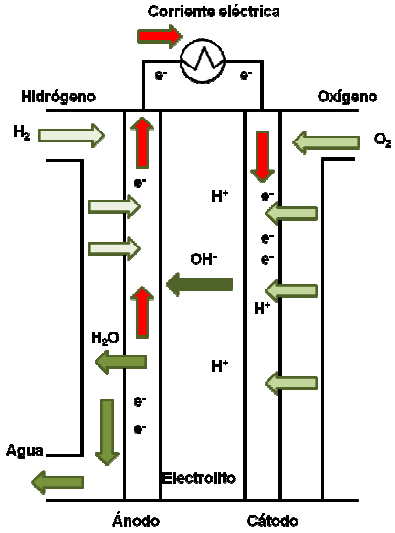


Fuente: (DOE/EERE, 2010a)

I.2.1.9 Celda de combustible alcalina

Esta tecnología utiliza hidróxido de potasio alcalino como electrolito. La ventaja de esta celda es su buen desempeño (eficiencias eléctricas mayores a 60% PCS), uso de metales no preciosos como electrodos y materiales comunes. Su principal desventaja es su tendencia a absorber CO_2, convirtiendo el electrolito alcalino en un carbonato acuoso que es menos conductor.

Figura I.5 Celda de combustible alcalina.

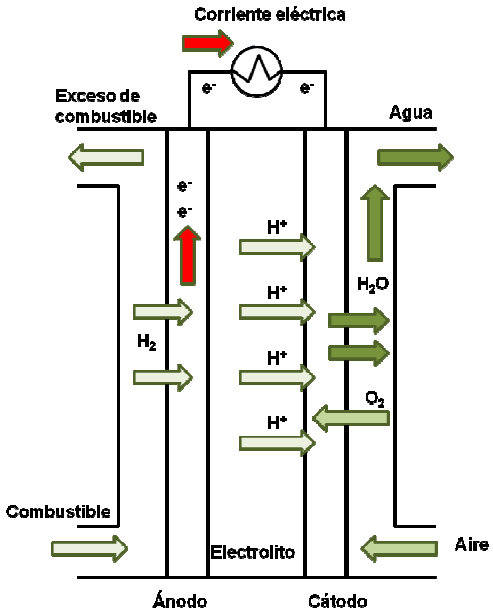


Fuente: (DOE/EERE, 2010a)

I.2.1.10 Celda de combustible de ácido fosfórico

Este tipo de celda utiliza ácido fosfórico líquido como electrolito. El ácido está contenido en una matriz de carburo de silicio con Teflon y los electrodos son de carbono poroso con platino como catalizador. Es considerada como la primera generación de celdas de combustible avanzadas y hasta el momento es la tecnología que ha sido más estudiada. Esta tecnología existe a nivel comercial desde principios de la década de 1990 y se han operado aproximadamente 300 unidades en Estados Unidos, Europa y Japón. La mayoría de las celdas son del tipo PC25 de 200 kW construidas por United Technologies Corporation (UTC). UTC ha instalado hasta ahora más de 75 MW en sistemas que utilizan este tipo de celda de combustible (DOE, 2010b).

Figura I.6 Celda de combustible de ácido fosfórico.



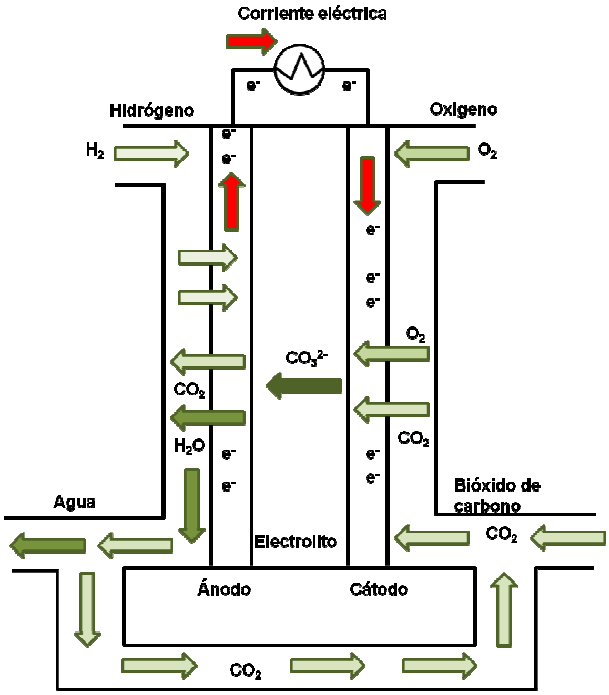
Fuente: (DOE/EERE, 2010a)

I.2.1.11 Celda de combustible de carbonato fundido

Esta celda utiliza un carbonato de metal alcalino (Li, Na, K) como electrolito. Debido a su alta temperatura de operación, esta tecnología tendrá aplicaciones en cogeneración y generación distribuida. La parte de reformación de combustible es interna y puede tener una eficiencia de 50% (PCS) siendo tolerante a impurezas en el combustible. Actualmente existen a nivel internacional, más de 50 instalaciones que utilizan esta tecnología. La mayoría de estas instalaciones utilizan unidades de aproximadamente 250 kW y se ha demostrado de manera exitosa la utilización de varias unidades para la generación de electricidad. En Renton Washington, una planta eléctrica de 1 MW opera en la planta de tratamiento de aguas residuales de King County y utiliza gas producido a partir de las aguas residuales. Otra experiencia exitosa es una planta eléctrica de 250 kW en Cadiz, Ohio que utiliza metano obtenido en la mina de carbón operada por Harrison Mining Corporation (DOE, 2010c).

Folio No. 0033

Figura I.7 Celda de combustible de carbonato fundido.



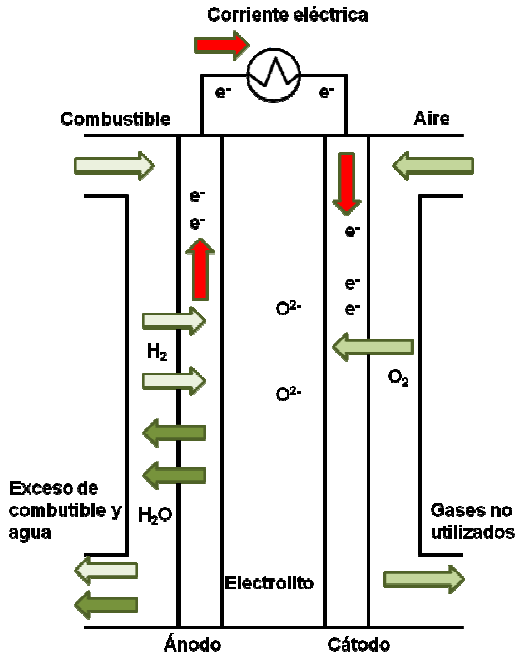
Fuente: (DOE/EERE, 2010a)

I.2.1.12 Celda de combustible de óxido sólido

Estas celdas utilizan óxidos de metales no porosos como electrolito. Se han probado diferentes unidades de diseño tubular concéntrico de hasta 100 kW en Alemania, Italia y los Países Bajos (DOE, 2010). A pesar de que es una tecnología inmadura, su uso tiene diferentes ventajas como la alta eficiencia, estabilidad y confiabilidad, y altas temperaturas. Se ha proyectado que estos sistemas podrían alcanzar eficiencias eléctricas entre 45 y 60% si se combinan con plantas de ciclo combinado. La estabilidad y confiabilidad de estas celdas se deben a que su construcción está basada en un material cerámico de estado sólido. Las altas temperaturas a las que operan estas celdas, hacen posible la incorporación interna del reformador.

Folio No. 0034

Figura I.8 Celda de combustible de óxido sólido.



Fuente: (DOE/EERE, 2010a)

Tabla I.1 Características de las celdas de combustible.

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Tipo de electrolito	Iones H^+ (con unión de aniones en membrana polimérica)	Iones OH^- (típicamente solución acuosa de KOH)	Iones H^+ (soluciones de H_3PO_4)	Iones CO_3^{2-} (típicamente $LiKaCO_3$)	Iones O^{2-} (Matriz cerámica estabilizada con iones óxido libres)
Construcción típica	Plástico, metal o carbono	Plástico, metal	Carbono, cerámicos porosos	Metales de alta temperatura, cerámicos porosos	Cerámicos, metales de alta temperatura
Reformador interno	No	No	No	Si	Si
Oxidante	Aire a O_2	Aire purificado a O_2	Aire a aire enriquecido	Aire	Aire
Temperatura operacional	65-85ºC	90-260ºC	190-210ºC	650-700ºC	750-1,000ºC

Folio No. 0035

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Eficiencia para aplicaciones de generación distribuida (%, PCS)	20 a 35%	32 a 40%	35 a 45%	40 a 45%	45 a 55%
Sensibilidad a contaminantes	CO, azufre, NH_3	CO, CO_2 y azufre	CO < 1%, azufre	Azufre	Azufre

Fuente: (EPA, 2008a)

I.2.2 Aplicación de la cogeneración en la industria y los servicios

I.2.2.1 Sector petróleo y gas

Petróleos Mexicanos (PEMEX) es uno de los mayores consumidores de energía eléctrica en el país, con una capacidad instalada de 2,150 MW (4% del Sistema Eléctrico Nacional) (CONUEE, 2009b). De acuerdo con estudios de PEMEX, el potencial factible identificado de cogeneración en sus instalaciones es de 3,100 MW. Actualmente, PEMEX construye una planta de cogeneración de 260 MW en el complejo procesador de gas Nuevo PEMEX. Con este proyecto, se espera reducir la emisión de 940 mil tCO_2 por año (PEMEX, 2010). A nivel internacional existen una gran variedad de proyectos de cogeneración que han sido desarrollados por las compañías petroleras. A continuación se presentan algunos ejemplos.

Refinería Amberes de ExxonMobil. La refinería Amberes está localizada en ese puerto de Bélgica y tiene una capacidad anual de procesamiento de 13.5 millones de toneladas. En el año 2009, se inauguró una nueva planta de cogeneración de 125 MW que podrá evitar la emisión anual de 200,000 tCO_2. El sistema de cogeneración utilizado en la refinería, está basado en una turbina de gas. El consumo de vapor adicional de la refinería es bajo, por lo que la recuperación de calor se realiza a través del calentamiento directo del crudo (ExxonMobil, 2010).

Folio No. 0036

Figura I.9 Planta de cogeneración en la refinería de Amberes.

Fuente: (ExxonMobil, 2010)

Refinería Carson de British Petroleum. La refinería Carson operada por British Petroleum se encuentra en el sur de California (Los Angeles), Estados Unidos. La refinería procesa 265,000 barriles diarios de petróleo para producir gasolina, coque de petróleo, diesel y combustible para aviación. En 1987, la planta de cogeneración Watson comenzó a producir electricidad y vapor para la refinería (British Petroleum, 2010). La planta produce 410 MW utilizando turbinas de gas.

Figura I.10 Planta de cogeneración en la refinería Carson.

Fuente: (Edison Mission Energy, 2010)

Refinería de Normandía de Total. La refinería se localiza en Gonfreville-l'Orcher, Francia y desde finales de 2004 la planta de cogeneración ha cubierto la demanda de vapor de la refinería, además de que ha producido energía eléctrica adicional. La capacidad de producción de la refinería es de 450 t/h de vapor, y 250 MW de electricidad. Esta planta es la más grande de Francia y tiene una eficiencia energética del 84%. La planta utiliza gas natural y ha reducido las emisiones de NO_x en un 15% y las emisiones de CO_2 en 11% en comparación con las calderas de combustóleo que se utilizaban anteriormente (Total, 2005).

Folio No. 0037

Figura I.11 Planta de cogeneración en la refinería de Normandía.

Fuente: (Total, 2010)

I.2.2.2 Sector industrial

El Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE) 2009 – 2012, identifica las industrias con el mayor potencial de cogeneración en el país. Dentro de estas industrias se encuentra la de la celulosa y el papel (1,506 MW), la azucarera (991 MW), la petroquímica (2,036 MW) y PEMEX (1,121 MW).

Industria azucarera. Brasil es el país que posee la mayor capacidad de cogeneración en esta industria a nivel mundial. Entre los años 2007 y 2008, se tuvieron 370 ingenios, de los cuales 48 estaban conectados a la red eléctrica. Los ingenios azucareros en Brasil, tienen la posibilidad de incorporar a la red, la energía eléctrica extra generada. Lo anterior ha provocado un gran crecimiento en el uso de la cogeneración ya que la capacidad instalada creció de 100 MW en el año 2000 a 3,100 MW en el año 2008 (International Sugar Organization, 2009). La Tabla I.2 muestra el número de ingenios que exportaron su excedente de energía para el periodo 2007/2008.

Tabla I.2 Ingenios azucareros que proporcionan electricidad a la red en Brasil.

Estado	Número de ingenios conectados a la red	Capacidad instalada de energía eléctrica adicional (MW)
Goiás	3	52
Mato Grosso	2	16
Minas Gerais	5	32
Paraná	3	92
São Paulo	20	228
Centro – Sur	33	420
Alagoas	7	40
Bahia	1	4

Folio No. 0038

Estado	Número de ingenios conectados a la red	Capacidad instalada de energía eléctrica adicional (MW)
Paraíba	1	9
Parnambuco	4	34
Rio Grande do Norte	2	2
Norte – Noreste	15	89
Brasil	48	509

Fuente: (International Sugar Organization, 2009).

Industria de la celulosa y el papel. Como se mencionó al principio de este apartado, Finlandia es uno de los líderes en cogeneración a nivel mundial y dentro de los logros alcanzados en ese país está el hecho de que la cogeneración suministró el 29% de la energía total utilizada. La cogeneración en ese país tiene sus orígenes en la industria forestal y un ejemplo de planta de cogeneración utilizada en la industria de la celulosa y el papel es la planta Alholmens Kraft en Pietersaari en la costa oeste. Esta planta utiliza los residuos de la fábrica de papel y el aserradero. La planta tiene una capacidad térmica de 550 MW y una capacidad eléctrica de 265 MW (Energy-Enviro Finland, 2010).

Figura I.12 Planta de cogeneración en la planta Alholmen Kraft, Finlandia.

Fuente: (Energy - EnviroFinland, 2010)

I.2.2.3 Sector servicios

El sector de los servicios, que incluye hospitales, hoteles, universidades, instalaciones deportivas, entre otros, es otro de los sectores en los que la cogeneración puede traer beneficios.

Hospital infantil Dell. El Centro Médico Infantil Dell localizado en Austin, Texas, instaló un sistema de cogeneración con turbina de gas de 4.5 MW. El sistema de cogeneración provee electricidad al hospital además de que el vapor generado se utiliza para enfriar agua. La eficiencia energética excede el 70%, además de que las emisiones de NO_x son bajas y se redujo un 40% las emisiones de CO_2 (IEA, 2008b).

Folio No. 0039

Figura I.13 Planta de cogeneración en el hospital infantil Dell, Estados Unidos.

Fuente: (IEA, 2008)

Roppongi Hills. Roppongi Hills es un complejo desarrollado en el distrito de Roppongi en Tokio, Japón. El complejo se inauguró en 2003 y está compuesto por oficinas, hoteles, edificios comerciales y residenciales, teatros y galerías de arte. El complejo utiliza un sistema de trigeneración (38.6 MW) generando electricidad, calor y enfriamiento. La unidad es aproximadamente 16% más eficiente que los sistemas tradicionales de suministro de energía (IEA, 2008d).

Aeropuerto Internacional Shanghai Pudong. El Aeropuerto posee un sistema de cogeneración basado en turbinas de gas de 4.6 MW que genera 11 t/h de vapor. El sistema provee electricidad, calor y enfriamiento en horas pico suministrando entre 20 y 30% de la demanda de electricidad y 15 a 50% de la demanda de calor. La eficiencia total del sistema es del 74% reduciendo las emisiones de CO_2 con respecto a las opciones tradicionales de generación (IEA, 2008e).

Instituto Tecnológico de Massachusetts. Esta universidad posee un sistema de cogeneración basado en una turbina de gas de 20 MW. El sistema cumple con la demanda de electricidad, calor y aire acondicionado del 80% de los edificios de la universidad. El sistema es 18% más eficiente que los sistemas tradicionales y reduce en un 45% las emisiones de CO_2 (MIT, 2010 a,b).

Folio No. 0040

I.3 Motores eléctricos

A nivel internacional, el consumo de energía de equipos accionados por motores eléctricos representa el 60% del consumo de energía en la industria y más del 30% del consumo total. En países como Canadá y Estados Unidos, se han implementado estándares de eficiencia de motores eléctricos que han dado como resultado que el 70% de los motores utilizados en esos países sean motores eficientes. Por el contrario, en Europa los programas no han sido suficientes, ya que únicamente entre el 10 y 15% son motores eficientes.

Los motores son las principales cargas eléctricas en la industria y la agricultura en México. Los motores pueden ser de unos cuantos caballos de fuerza para aplicaciones en electrodomésticos, hasta varios mega Watts para aplicaciones en bombas y ventiladores en plantas eléctricas.

De acuerdo con el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE) 2009 – 2012, los sistemas de motores representan el 61% del consumo de electricidad de todo el sector industrial en México; y del parque total de motores, la mayoría tiene una potencia menor a 5 caballos de fuerza.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA), establece que los motores de alta eficiencia son más eficientes que los motores utilizados en la actualidad, alcanzando eficiencias hasta del 90%, pero su uso debe de combinarse con otras medidas que hagan eficientes los procesos. A continuación se presentan los factores que determinan la eficiencia de los procesos que utilizan motores:

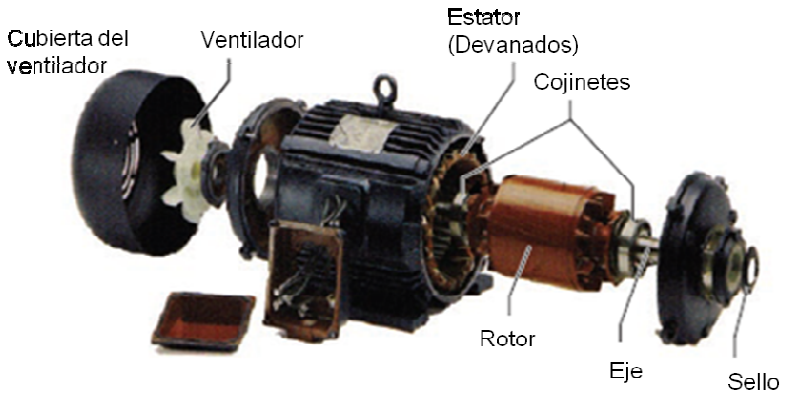
- Eficiencia del motor
- Controles de velocidad del motor
- Dimensionamiento correcto
- Calidad de la energía eléctrica suministrada
- Pérdidas por distribución
- Transmisión
- Mantenimiento
- Eficiencia mecánica de los equipos que los motores accionan

I.3.1 Tipos de motores

Sin duda, los motores eléctricos constituyen uno de los equipos más utilizados en la industria ya que accionan bombas, ventiladores, compresores, bandas de transporte. La utilización de equipos eficientes, puede dar como resultado el ahorro de energía en los sistemas en los que se aplican. Es por ello, que su selección adecuada, así como de la mejora de su control, son acciones de gran importancia.

Folio No. 0041

Figura I.14 Motor de inducción.



Fuente: (DOE, 2008)

Existe una gran variedad de motores y de acuerdo con la National Electrical Manufacturers Association (NEMA), pueden clasificarse de acuerdo al tipo de suministro eléctrico que actúa en los devanados (corriente directa y alterna). La mayoría de las aplicaciones a nivel residencial, comercial e industrial utilizan motores de inducción debido a que son de bajo costo, alta confiabilidad y alta eficiencia.

I.3.1.1 Motores de corriente alterna (CA)

Los motores de corriente alterna funcionan a partir de la inversión de las polaridades tantas veces como ciclos por segundo contenga la corriente. En estos motores, durante un instante de tiempo un polo es negativo y el otro positivo. La parte externa del motor (estator) se encuentra fija y está formada por embobinados que generan un campo magnético al ser alimentados por corriente alterna. El rotor gira debido a la acción del campo magnético del estator. Existen dos tipos de motores eléctricos de corriente alterna: el motor de inducción y el motor síncrono. El motor síncrono se subdivide a su vez en motor de imán permanente, y de reluctancia.

Motor de inducción. Un motor de inducción es un equipo asíncrono y está formado por dos elementos (estator y rotor). El estator en estos motores generalmente está conectado directamente a la fuente de potencia, mientras que el rotor transporta corriente inducida a través de un devanado. Los motores de inducción se dividen en motores de jaula de ardilla y de rotor devanado. Para el primer caso, el rotor consiste en barras conductoras con surcos que están conectadas en ambos extremos. En los motores de rotor devanado, el rotor consiste en una seria de bobinas. Los motores de rotor devanado, tiene un rotor que consiste en una serie de bobinas. En estos motores la velocidad y el torque pueden ser ajustados al controlar la cantidad de resistencia en el circuito del rotor.

Motor sincrónico. La característica principal de estos motores es que la velocidad de operación es igual a la del campo magnético. En el motor sincrónico normal, se desarrolla un campo magnético giratorio gracias a las corrientes de estator, como sucede en los motores de inducción. Sin embargo, el rotor es distinto y consiste usualmente en pares de electroimanes (polos) espaciados en torno a la periferia

del rotor. Estos motores son más eficientes que los motores de inducción, pero requieren de mayor mantenimiento.

I.3.1.2 Motores de corriente directa (CD)

Los motores de corriente directa son menos preferidos en la industria, pero presentan ventajas en algunas aplicaciones industriales. En los motores de corriente directa, los campos del motor se localizan en el estator. El rotor es la armadura y el campo magnético no gira como el campo en las máquinas de corriente alterna, ya que la corriente de la armadura reacciona con el campo del estator para producir el par de rotación.

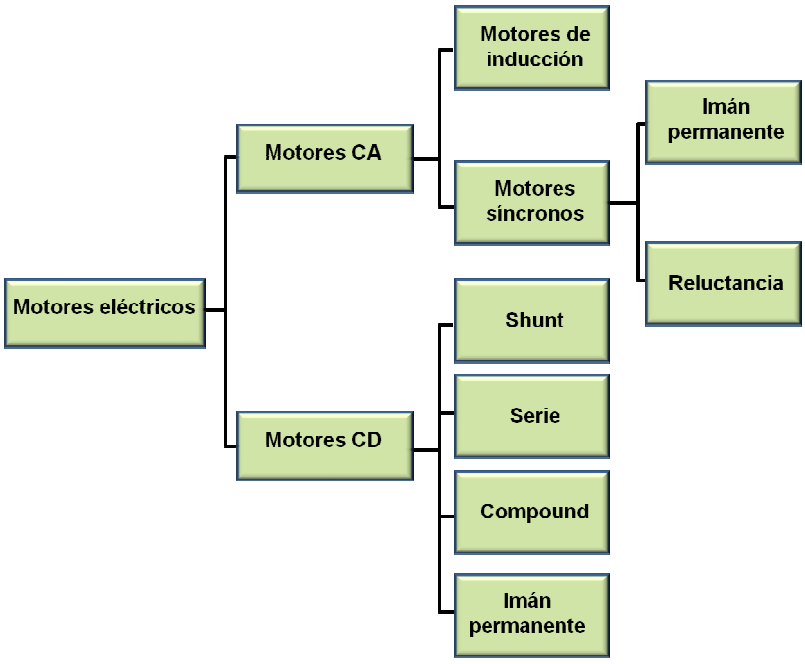
Motor con devanado en serie. Un motor con devanado en serie tiene los circuitos de los campos y la armadura conectados en serie. Al disminuir la carga, disminuye la corriente en la armadura y aumenta la velocidad del motor.

Motor shunt. El motor shunt o motor de excitación paralelo es un motor de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en paralelo con el circuito formado por los bobinados, inducido e inductor auxiliar.

Motor compound. Este tipo de motor tiene dos arrollamientos inductivos, en el que uno se conecta en paralelo con la armadura y el otro se conecta en serie. Este tipo de motor es una combinación entre los dos motores mencionados anteriormente.

Imán permanente. Los motores de imán permanente están basados en materiales magnéticos como aleaciones de cobalto, níquel, hierro y titanio. Estos motores pueden ser de hasta 600 hp y existen algunas versiones que operan con corriente alterna.

Figura I.15 Clasificación de motores eléctricos.



Fuente: (Centro Mario Molina, 2010)

I.3.2 Eficiencia de motores

La eficiencia en los procesos que utilizan motores está influenciada por el diseño del proceso mismo, y es por ello que en muchos casos el aumento de eficiencia puede traducirse en una mejora en el uso de la energía mecánica en el proceso. En el caso de la eficiencia de motores, para cargas bajas, dominan las pérdidas en el núcleo magnético (histéresis y corrientes de remolino), mientras que para cargas grandes, dominan las pérdidas por resistividad del cobre.

I.3.2.1 Motores superconductores

La superconductividad es la propiedad de algunos materiales que al ser sometidos a temperaturas muy bajas, permite la conducción de corriente eléctrica sin resistencia. Los motores superconductores utilizan rotores cuyos devanados están hechos con materiales superconductores de alta temperatura en lugar de cobre como en los motores tradicionales. Los motores que utilizan esta tecnología son motores síncronos de corriente alterna y su ventaja está basada en el hecho de que pueden transportar una corriente mayor, además de que reducen las pérdidas eléctricas en el rotor.

I.3.2.2 Motores de imán permanente

Como se mencionó anteriormente, estos motores de corriente directa utilizan materiales magnéticos. El progreso en el desarrollo de materiales magnéticos ha permitido la construcción de motores más ligeros y altamente eficientes debido a su densidad energética alta y costo moderado. Un ejemplo de estos materiales es la aleación de neodimio-hierro-boro.

En diseños modernos, los imanes permanentes se utilizan en el rotor. La velocidad se puede controlar debido a que el rotor gira sincrónicamente con el campo magnético creado por las bobinas del estator. La corriente de los devanados es cambiada dependiendo de la posición del rotor. Estos motores son también llamados motores de corriente directa sin cepillo debido a que no tienen cepillos y con ciertos controles, pueden ser alimentados por corriente directa.

I.3.2.3 Motores de reluctancia conmutada

Estos motores son sincrónicos y presentan distintas ventajas en desempeño, eficiencia y costos. El rotor de estos motores no tiene devanados ni tienen imanes y operan como una bobina electromagnética. El estator posee polos que crean un campo magnético que jala el polo del rotor más cercano. La atracción entre los polos magnetizados y el campo rotatorio crea un torque que mantiene moviendo al rotor a una velocidad síncrona. Los motores de reluctancia conmutada tienen una eficiencia mayor que los motores de inducción, son de construcción sencilla y robusta, y si se producen en masa, su precio puede competir con el de los motores de inducción. Estos motores también pueden ser utilizados en aplicaciones de alta velocidad.

Folio No. 0044

I.3.2.4 Motores con rotor de cobre y motores de acero magnético

Estos dos tipos de motores están basados en la utilización de otros materiales en el proceso de fundición. Estos materiales remplazan el aluminio en la jaula de ardilla del rotor, lo que incrementa la eficiencia de los motores de inducción debido a que la conductividad eléctrica de estos dos materiales es 60% mayor a la del aluminio. El cobre reacciona con mayor estabilidad al cambio de carga, especialmente a bajas velocidades y frecuencias, además de que opera a una temperatura menor y requiere de menos reparaciones y rebobinados.

I.3.2.5 Motores de polo grabado

Este tipo de motores actúan como motores de inducción durante el arranque y como motores síncronos una vez que alcanzan completamente la velocidad operacional. La diferencia entre los motores convencionales radica en que estos motores poseen una capa de imanes de ferrita en la superficie del rotor, además de un devanado de alta densidad en el estator. Los motores monofásicos convencionales requieren de una alta corriente de arranque, frecuentemente tienen insuficiente par de arranque, son limitados en potencia y presentan baja confiabilidad. Estos problemas pueden resolverse potencialmente mediante el desarrollo de motores de polos grabados (written pole motors), los cuales graban el número de polos y su localización de manera electrónica en el rotor. Estos motores pueden ser utilizados para aplicaciones para las cuales sólo están disponibles motores trifásicos.

I.3.3 Controles de velocidad de motores

La eficiencia en aplicaciones que utilicen motores puede aumentar, si su velocidad se ajusta a los requerimientos de los procesos. Lo anterior puede lograrse al sustituir los motores de inducción de corriente alterna y los motores síncronos, que son esencialmente de velocidad constante, por motores de velocidades múltiples o utilizando dispositivos de ajuste de velocidad. Existen diferentes ventajas de controlar la velocidad y éstas incluyen una mayor productividad y calidad de producto, menor deterioro de equipo y ahorro de energía. El uso de estos dispositivos tiene un gran potencial en aplicaciones en las que se utilizan bombas, ventiladores y compresores, además de que pueden ser una alternativa a los métodos convencionales de control de flujo (dispositivos de estrangulamiento mecánicos), que a la larga resultan ser ineficientes.

I.3.3.1 Motores de velocidades múltiples

En aplicaciones en las que se requiere únicamente pocas velocidades de operación, estos motores ofrecen la solución más costo efectiva. Estos equipos se encuentran disponibles con una variedad de características torque-velocidad de manera que puedan ajustarse a diferentes procesos. Estos motores de corriente alterna, pueden ser construidos con varios devanados, que operen a velocidades distintas; o pueden tener un solo devanado que pueda ser reconfigurado a distintas velocidades. Otra de las ventajas de estos motores es que ocupan menos espacio.

Folio No. 0045

I.3.3.2 Ajuste electrónico de velocidad

En los motores de inducción, la velocidad es casi proporcional a la frecuencia de la corriente alterna suministrada al motor y es por ello que la velocidad puede ser modificada al aplicar una corriente de frecuencia variable. Los dispositivos de ajuste electrónico de la velocidad (ASD) logran lo anterior al convertir la frecuencia fija a corriente directa y posteriormente a corriente alterna de frecuencia variable / voltaje variable. Estos dispositivos presentan una alta confiabilidad y eficiencia, además de bajos requerimientos de mantenimiento. No todos los motores de inducción que son utilizados en la industria pueden ser acoplados a estos dispositivos, por lo que la selección del dispositivo dependerá de diferentes factores que incluyen el tipo de motor, la potencia requerida, el rango de velocidades y los requerimientos de control.

I.3.4 Sobredimensionamiento de sistemas de motores

Para mejorar la eficiencia de los sistemas que utilizan motores, es necesario diseñarlos de manera que el suministro se acople a la demanda. Lo anterior se logra optimizando todos los componentes del sistema, que incluyen por ejemplo, ventiladores, bombas, compresores. En la actualidad muchos de los diseños se sobredimensionan por seguridad en el sistema, y la optimización cobra importancia ya que motores que operan a un porcentaje bajo de capacidad son menos eficientes y presentan un menor factor de potencia.

I.3.5 Aplicación de los motores eléctricos eficientes en la industria y los servicios

Los motores eléctricos accionan diferentes equipos en la industria. Dentro de estos equipos se encuentran bombas, ventiladores y compresores. De acuerdo con el DOE, las bombas son los mayores consumidores de la energía que proveen los motores. Si bien, el uso de motores eléctricos eficientes presenta una oportunidad de ahorro de energía, el desarrollo de bombas y mecanismos que maximicen el uso de energía cobra una gran importancia. Existen diversas prácticas y tecnologías para sistemas de bombeo que incluyen el uso de bombas centrífugas eficientes, uso de ajuste electrónico de motores, el diseño y selección de bombas que se ajusten a las necesidades del proceso, y el uso de una mayor cantidad de partes hechas a base de resinas.

Existen muchas empresas que han llevado a cabo la modernización de motores, así como la optimización de los sistemas que los utilizan. Lo anterior ha traído grandes beneficios, a continuación se presentan algunos ejemplos.

> **Refinería Richmond de Chevron**. La refinería de Chevron se encuentra en California y en 1995 realizó cambios en el sistema de motores y bombas de la unidad hidrotratadora de diesel. Dentro de los cambios realizados estuvo el uso de dispositivos de ajuste de velocidad de los motores que accionaban las bombas. Con este cambio y otros cambios en las bombas, se pudo reducir el consumo de energía por un millón de kWh por mes ahorrando más de 700,000 dólares anuales (Ericksen, 1999).

Planta de Cemex en Davenport. En junio de 2004, se completó el remplazo de 13 motores de sopladores de cemento y bombas. Después de un estudio, se determinó que los motores eran ineficientes y del tipo incorrecto, por lo que tenían que ser remplazados. Los motores tenían una eficiencia menor al 80% y llevaban operando 40 años. Además, el cemento había bloqueado las aberturas de enfriamiento de los motores, que estaba causando el sobrecalentamiento de los mismos. Los motores antes mencionados fueron sustituidos por motores enfriados por un ventilador y su eficiencia es ahora del 95%. El cambio realizado redujo el consumo de energía anual por 2 millones de kWh, ahorrando 168,000 dólares por año (NREL, 2005).

Minnesota Mining and Manufacturing (3M). Esta empresa llevó a cabo el desarrollo de mejoras energéticas en el edificio 123 del Centro 3M. Una de las estrategias llevadas para realizar las mejoras incluyó la evaluación de los motores del edificio con una capacidad mayor 1.5 hp. El estudio identificó 50 motores viejos de eficiencia estándar que operaban más de 6,000 horas anuales, que podían ser sustituidos. Se cambiaron 28 motores por motores de alta eficiencia energética y junto con las otras medidas tomadas, se redujo el consumo de energía 41% creando un ahorro en costos de 77,554 dólares anuales (DOE, 2002b).

Folio No. 0047

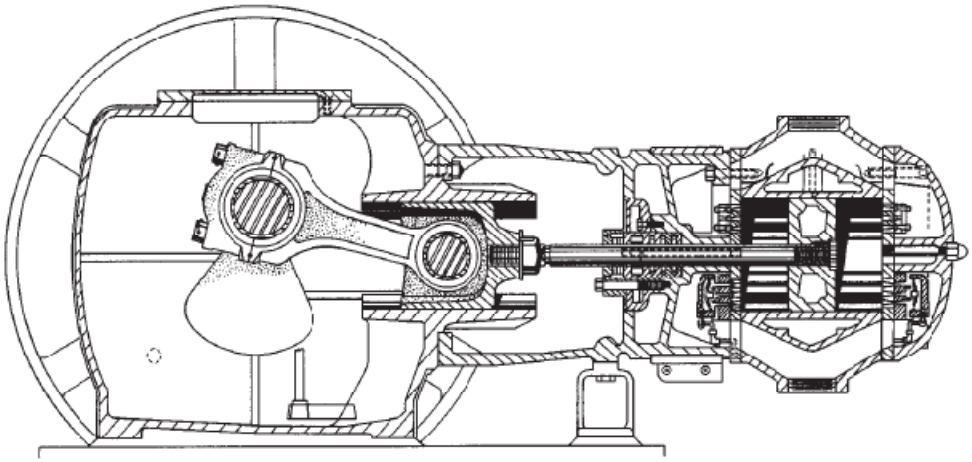
I.4 Compresores

Los compresores se utilizan para incrementar la presión de un gas y pueden clasificarse básicamente en dos tipos: compresores de desplazamiento positivo y compresores de tipo dinámico, que incluyen compresores centrífugos. Los compresores de desplazamiento positivo comprimen una cierta cantidad de aire o gas atrapada en su interior de manera mecánica, mientras que los compresores de tipo dinámico imparten energía cinética al aire o gas en movimiento y la transforman en presión a través de impulsores y volutas. La compresión de gases se lleva a cabo por un sistema que está compuesto por diversos subsistemas y muchos otros componentes. Los subsistemas incluyen el compresor, la fuente de energía y controles.

I.4.1 Compresores de desplazamiento positivo

Dentro de los tipos de compresores de desplazamiento positivo se incluyen compresores reciprocantes y rotatorios. Los compresores reciprocantes tienen uno o más cilindros en los cuales hay un pistón o émbolo que desplaza un volumen positivo. Los compresores reciprocantes se dividen en unidades de efecto simple o efecto doble. En los compresores de efecto simple, el golpe de compresión se da en una sola dirección, mientras que para el otro tipo de compresor, la compresión se da en los dos sentidos del pistón. Los compresores reciprocantes utilizados en la industria son de efecto doble con enfriamiento de agua y se encuentran disponibles en tamaños desde 1 caballo de fuerza hasta 600 caballos de fuerza Los compresores rotatorios son usualmente clasificados como: de lóbulo recto, tipo tornillo, tipo paleta deslizante y de pistón líquido. Los compresores de tipo tornillo son los más comunes y tienen bajo costo inicial, tamaño compacto y su mantenimiento es sencillo.

Figura I.16 Compresor de una etapa de efecto doble enfriado con agua.

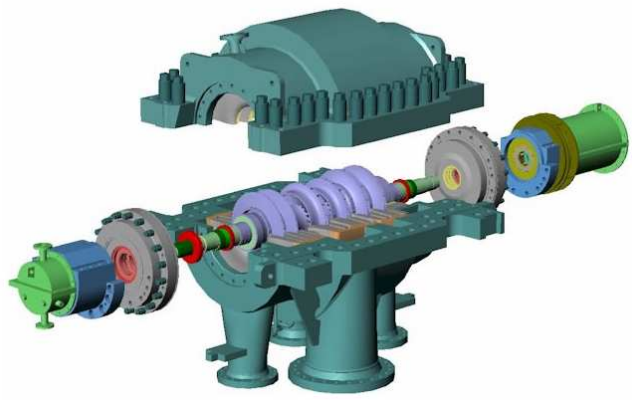


Fuente: (Perry, 2001)

I.4.2 Compresores de tipo dinámico

Los compresores de tipo dinámico incluyen compresores centrífugos y compresores de tipo axial. Los compresores centrífugos son el tipo de compresor dinámico más común y es muy utilizado en la industria para aplicaciones que requieren aire comprimido, así como para la compresión de gas natural. Cada impulsor, que gira a grandes velocidades, imparte energía cinética al gas, que posteriormente pasa por una voluta que convierte la energía cinética en presión.

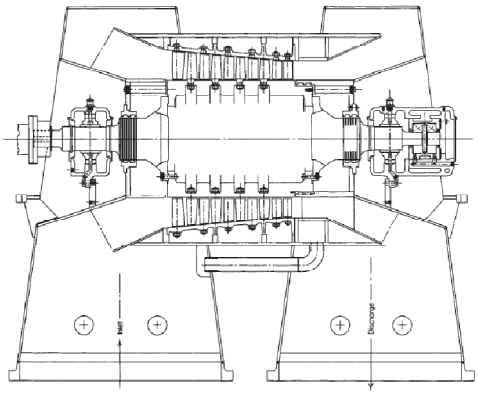
Figura I.17 Compresor centrífugo.



Fuente: (Hitachi Plant Technologies Ltd., 2010)

Los compresores axiales consisten en un rotor con múltiples filas de aspas y un estator con filas de paletas estacionarias. Las aspas imparten velocidad al aire y las paletas estacionarias funcionan como difusor convirtiendo la velocidad del fluido en presión. Este tipo de compresor se utiliza en aplicaciones en las que se tiene un gran flujo y generalmente tienen una eficiencia de compresión baja.

Figura I.18 Compresor de flujo axial.



Fuente: (Perry, 2001)

I.4.3 Elemento motor primario

Es la fuente de energía que mueve el compresor. La energía que requiere el compresor para operar, puede ser proporcionada por motores eléctricos, motores de gas natural o diesel, turbinas de vapor y turbinas de gas. El dispositivo más común utilizado es el motor eléctrico. Como se mencionó en el apartado anterior, el uso de motores eficientes puede ahorrar energía en los procesos. Los motores de gas natural o diesel con comúnmente utilizados en la industria petrolera y la ventaja que presentan consiste en que no dependen de la red eléctrica y que puede resultar más barata en países en los que los precios de la electricidad son altos.

I.4.4 Sistemas de control

Los sistemas de control del sistema de compresión sirven para acoplar el suministro del compresor con las demandas del sistema. Los sistemas de control de los compresores son esenciales para que se tenga una operación eficiente y de alto desempeño. Los sistemas de control permiten modificar el funcionamiento de los sistemas de compresión de manera que se optimice el suministro del gas comprimido.

I.4.5 Ahorro de energía en compresores de aire

El aire comprimido es uno de los servicios más utilizados en la industria ya que sirve para accionar diversos mecanismos y controles neumáticos. La compresión de aire se lleva a cabo por un sistema que está compuesto por diversos subsistemas y muchos otros componentes. Los subsistemas incluyen el compresor, la fuente de energía, controles, equipo de tratamiento, accesorios y el sistema de distribución.

El consumo de energía de un sistema de aire comprimido depende de varios factores: tipo de compresor, modelo y tamaño son factores importantes; pero la potencia del motor, los mecanismos de control, el diseño del sistema, y el mantenimiento y operación correctos son fundamentales para determinar el consumo de energía del sistema. El Departamento de Energía de los Estados Unidos identificó diversas prácticas para mejorar la eficiencia de los sistemas de compresión, a continuación se presentan las prácticas y tecnologías identificadas por el Centro Mario Molina como potenciales para ser aplicadas en México.

I.4.5.1 Fugas en los sistemas de compresión de aire

Las fugas pueden ser una fuente significativa de pérdidas de energía en sistemas industriales de aire comprimido. Éstas pueden llegar a ser del 20 al 30% de la producción del compresor. Las fugas pueden darse en cualquier parte del sistema, pero principalmente se producen en:

- Juntas, mangueras, tubería y accesorios
- Reguladores de presión
- Trampas de condensado abiertas y válvulas de estrangulamiento
- Juntas de tuberías, selladores de roscas

Debido a que las fugas son imposibles de ver, se utilizan diversos métodos para localizarlas y la mejor manera de detectarlas es a través de detectores acústicos

ultrasónicos. Estos dispositivos pueden reconocer sonidos de alta frecuencia que se asocian con las fugas de aire. Estas unidades portátiles consisten en micrófonos, amplificadores y filtros de audio y tienen indicadores visuales o audífonos para detectar las fugas.

I.4.5.2 Recuperación de calor

Entre 80 y 93% de la energía eléctrica utilizada en un compresor de aire industrial se convierte en calor. En muchos casos, una unidad de recuperación de calor bien diseñada puede recuperar entre el 50 y 90% de esta energía disponible y aprovecharla para calentar agua o aire. Los usos típicos para la recuperación de calor incluyen calefacción, calentamiento en procesos industriales, calentamiento de agua, calentamiento de aire, precalentamiento de agua para calderas.

Recuperación de calor con compresores rotatorios de tipo tornillo enfriados con aire. Este tipo de compresores son adecuados para la recuperación de calor para calefacción u otros usos de aire caliente. Para ello, se hace pasar aire a temperatura ambiente a través del enfriador del lubricante y del enfriador final, y se extrae calor del aire comprimido y del lubricante. La única modificación que requiere el sistema, es la adición de ductos o posiblemente un ventilador que maneje la carga del ducto y eliminar cualquier contrapresión en el ventilador de enfriamiento del compresor. Para estos sistemas la eficiencia de recuperación es entre 80 y 90%. Otra posibilidad para recuperar energía de estos compresores es la adición de un intercambiador de calor. Es posible extraer calor residual de los enfriadores del lubricante y producir agua caliente.

Recuperación de calor con compresores enfriados con agua. La recuperación de calor para aplicaciones de calefacción no es común con compresores enfriados con agua, debido a que se requiere una etapa extra y la temperatura que resulta de esta etapa no es muy alta. Sin embargo, el tamaño de los compresores industriales enfriados con agua, ofrecen una oportunidad atractiva teniendo eficiencias de recuperación entre 50 y 60%.

I.4.5.3 Eficiencia en compresores

Existen muchos tipos de compresores, y en teoría todos los tipos operan de manera más eficiente si son diseñados para incluir múltiples etapas. Muchos de los compresores de múltiples etapas ahorran energía al enfriar el aire entre cada etapa, reduciendo el volumen y el trabajo requerido para comprimir el aire.

Compresores reciprocantes de efecto simple y doble. Los compresores reciprocantes generalmente son enfriados con aire y se tienen en tamaños pequeños. Estos compresores son menos eficientes que los demás tipos de compresores. Los compresores de efecto doble son enfriados generalmente con agua.

Compresores Rotatorios. Los compresores rotatorios de tipo tornillo con inyección de lubricante, son utilizados ampliamente en la mayoría de las aplicaciones de aire comprimido en plantas industriales y en la industria de los servicios. Estos compresores tienen algunas ventajas con respecto a los compresores reciprocantes, ya que tienen costos de instalación y mantenimiento

más bajo, son de menor tamaño, y producen menor vibración y ruido. Los compresores rotatorios de tipo tornillo de dos etapas son típicamente menos eficientes que los reciprocantes de dos etapas de efecto doble.

Compresores Centrífugos. El uso de compresores centrífugos está limitado a aplicaciones industriales en las que se requieren grandes volúmenes, como industrias químicas, textiles, de refinación de petróleo. Los compresores operan a gran velocidad y es por ello que utilizan equipo más pequeño y compacto. Los compresores centrífugos de tres etapas son equipos más eficientes que los rotatorios de tipo tornillo y su eficiencia es similar a la de los reciprocantes de efecto doble.

Tabla I.3 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de compresores.

Tipo de compresor de aire	Ventajas	Desventajas
Compresor de aire reciprocante de efecto simple enfriado con aire. Eficiencia de operación: 22 a 24kW /100 pcm	• Tamaño y peso bajo. • Generalmente puede ser colocado cerca del punto en el que se requiere el aire. • No requiere de sistemas de enfriamiento separados. • Procedimientos de mantenimiento simples.	• Ruido relativamente alto. • Costo de compresión relativamente alto. • Generalmente no están diseñados para operar más del 50% del tiempo, aunque algunos pueden llegar a operar el 80%. • Generalmente comprime y almacena el aire en un receptor a una presión más alta que la requería en el punto de uso. La presión se reduce a la presión de operación requerida pero sin la recuperación de la energía utilizada para comprimir el aire a la presión mayor.
Compresores de aire reciprocantes de efecto doble enfriado con agua. Eficiencia de operación: 15 a 16kW /100 pcm	• Compresión eficiente, particularmente con compresores de múltiples etapas. • Operación de carga parcial eficiente. • Procedimientos de mantenimiento rutinarios.	• Costo alto relativo comparado con compresores de aire rotatorios equivalentes. • Requerimientos de espacio relativamente altos. • Vibración relativamente alta. • Raramente vendidos como paquetes completos independientes. • Requiere volante de inercia para superar torque y pulsaciones de corriente en el driver del motor. • Los procedimientos de reparación requieren de asistencia especializada
Compresor rotatorio de tipo tornillo con inyección de lubricante. Eficiencia de operación: 18 a 19 kW /100 pcm, una etapa 16 a 17kW /100 pcm, dos etapas	• Tamaño compacto y en paquete completo. • Costo económico. • Operación libre de vibraciones. • Sistemas de control de cargas parciales. • El mantenimiento de rutina incluye cambio de lubricante y filtro.	• Operación menos eficiente comparada con compresores reciprocantes enfriados con agua. • El arrastre de lubricante en el aire entregado requiere de un mantenimiento adecuado del separador y el lubricante.

Folio No. 0052

Tipo de compresor de aire	Ventajas	Desventajas
Compresores de aire rotatorios de tipo tornillo sin lubricante. Eficiencia de operación: 18 a 22kW /100 pcm	• Paquete completo. • Diseñado para entregar aire libre de lubricante. • No requiere de base especial.	• Menos eficiente que el tipo con inyección de lubricante. • Costo adicional. • Costos de mantenimiento más altos que los del tipo con inyección de lubricante. • Limitado a control de carga y descarga, y motor de velocidad variable.
Compresores de aire centrífugos. 15 a 16kW /100 pcm	• El costo disminuye a medida que aumenta el tamaño. • Diseñado para suministrar aire libre de lubricante. • Sistema completo para aire de planta hasta de 500 hp. • No requieren base especial.	• Necesita mantenimiento especializado. • La alta velocidad rotacional requiere de cojinetes especiales, monitoreo sofisticado de vibraciones. • Modulación de capacidad de control limitada.

Fuente: (DOE/EERE, 2010)

I.4.5.4 Sistema de distribución de aire

El sistema de distribución del aire es una de las partes más importantes del sistema de compresión. El sistema está compuesto por válvulas, mangueras, líneas troncales, reguladores de presión y lubricantes, filtros, trampas y equipo suplementario de tratamiento de aire. En este sistema es a través del cual se tienen las mayores pérdidas de energía y que requiere mantenimiento. Se debe de elegir equipo que pueda evitar pérdidas de presión y fugas. El dimensionamiento y disposición correctos del equipo permitirá el suministro correcto de aire, buen desempeño de herramientas y producción óptima.

I.4.5.5 Aplicación de sistemas de aire eficientes en la industria y los servicios

La optimización de los sistemas que proporcionan aire, puede traer beneficios como el ahorro de energía en diferentes sectores. Los siguientes son ejemplos de proyectos en los que se han optimizado estos sistemas a través del cambio de compresores o de sistemas de control.

Fábrica de papel de Procter and Gamble. En el año 2002, Procter and Gamble (P&G), mejoró el sistema de aire comprimido en su fábrica de Mehoopany, Pennsylvania. El proyecto ahorró energía y aumentó la producción. Las aplicaciones de aire más importantes en la planta incluyen máquinas para la producción pañales y pañuelos desechables, bandas transportadoras y cilindros. La planta operaba con seis compresores centrífugos que juntos tenían una potencia de 4,300 hp. Una evaluación determinó que los compresores operaban de manera ineficiente debido a que cada compresor era controlado

Folio No. 0053

individualmente de manera fija y manual. Los seis compresores operaban al 100% de su capacidad, excediendo la demanda por 1,000 pcsm. La evaluación también determinó que los sistemas de transporte y almacenamiento estaban mal dimensionados. Se tomaron diferentes medidas como la implementación de un sistema nuevo de control además de la compra de un nuevo compresor. El proyecto redujo el consumo de energía creando ahorros anuales de 7.6 millones de kWh y 304,000 dólares (DOE/EERE, 2004).

Leigh Southwest Cement Company. En 2001, la compañía implementó un proyecto que mejoró el sistema de aire comprimido de la planta de Tehachapi en California. El proyecto estabilizó la presión del sistema, remplazó los compresores existentes con compresores eficientes y redujo el desperdicio de aire comprimido. La planta instaló un sistema de control de presión/flujo, compresores rotatorios de tornillo con sistemas de comunicación entre ellos, y un sistema de almacenamiento de aire. El proyecto tuvo como resultado el ahorro de energía anual de 900,000 kWh y 199,000 dólares (DOE/EERE, 2003).

Distribución y almacenamiento de lubricantes de Mobil. En 1998, se llevó a cabo un proyecto de mejora del sistema de compresión de aire de dicha instalaciones de Mobil en Vernon, California. En este caso, la planta operaba con cuatro compresores (dos de 200 hp y dos de 75 hp) que estaban cerca del final de su vida útil. El sistema estaba sobredimensionado, por lo que después de un análisis del sistema, se repararon fugas y se dejo un solo compresor nuevo de 200 hp. Las modificaciones en el sistema dieron como resultado el ahorro de 517,000 kWh anuales, así como de 20,700 dólares (DOE/EERE, 2002a).

Fábrica de producción de acero de U.S. Steel. En 1996, se realizó la mejora del sistema de aire comprimido en la planta Edgar Thomson en Braddock Pennsylvania. La instalación de compresores nuevos, así como de secadores y el uso apropiado del aire comprimido, mejoraron el uso de energía en la planta. El ahorro anual de energía es de 4.5 millones de kWh y de 140,000 dólares. En la planta se sustituyeron compresores rotatorios viejos por dos compresores centrífugos, dejando algunos de los compresores rotatorios para uso de respaldo o condiciones de clima extremo (DOE/EERE, 2001).

I.4.6 Ahorro de energía en compresores de gas

El uso de compresores para el manejo de gas natural incluye la reinyección de gas para el mantenimiento de la presión, el procesamiento de gas natural, así como su transmisión, distribución y almacenamiento. Los principales tipos de compresores que se utilizan para el manejo de gas natural son los compresores reciprocantes y los compresores centrífugos.

I.4.6.1 Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

Las emisiones de metano de compresores de gas natural equivalen al 80% del total de las emisiones de metano en la industria. Estas emisiones se derivan principalmente por la operación de compresores que tiene sellos húmedos. De acuerdo con diversos estudios, la diferencia entre las emisiones de sellos húmedos y secos varía en aproximadamente

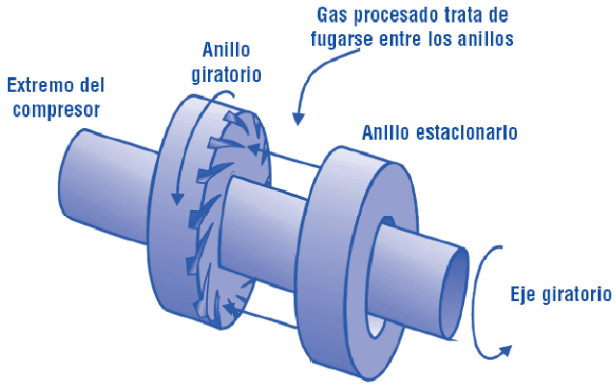
33.5 pies cúbicos estándar por minuto de metano. Aproximadamente el 65% de los compresores de los Centros Procesadores de Gas de PEMEX, poseen sellos húmedos, y es por ello que existen proyectos en el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) que consideran el cambio de sellos de 74 compresores. Esta mejora equivale a la disminución de 746 mil toneladas de CO_2 anuales.

Los compresores centrífugos poseen sellos en los ejes que evitan que el gas natural a alta presión escape del compresor. Generalmente se ha utilizado aceite como sello para evitar las fugas de gas natural. El sistema de sellos húmedos consiste en la inyección de aceite entre tres anillos. El anillo central está acoplado al eje, mientras que los dos anillos de los extremos son estacionarios y comprimen el aceite que fluye entre los anillos. Estos sistemas tienen anillos de hule que previenen fugas en los anillos estacionarios. EL aceite que se utiliza absorbe gas que luego se recupera, pero se ventea a la atmósfera.

Los sellos secos, reducen la cantidad de gas que se emite a la atmósfera, además de que mejora la eficiencia de los sistemas de compresión utilizando menos energía. El diseño de estos sellos se basa en la tecnología de película de gas que se utiliza en maquinaria de alta precisión y equipo de medición. Estos sellos están compuestos por dos anillos

El diseño de estos sellos está basado en la tecnología de película de gas utilizada en cojinetes de aire en maquinaria de alta precisión y equipo de medición. El dispositivo está formado por dos anillos. Uno de ellos tiene ranuras en una cara y está fijo en el eje del compresor. El otro anillo tiene una cara más lisa y puede moverse únicamente a lo largo del eje del compresor. El mecanismo de sellado posee resortes que acercan los anillos. Cuando el compresor está apagado y despresurizado, la fuerza de los resortes hace que las caras de los anillos entren en contacto. En el momento de operación del compresor, la presión del gas de proceso y la presión del gas que se bombea a través de las ranuras de uno de los anillos resulta en un equilibrio que hace que las caras de los anillos no entren en contacto y se encuentren separados. En este momento, existe la posibilidad de fugas de gas, que ocurre únicamente entre los anillos. Este sistema evita que los anillos se pongan en contacto mientras opera el compresor, por lo que se reduce su desgaste.

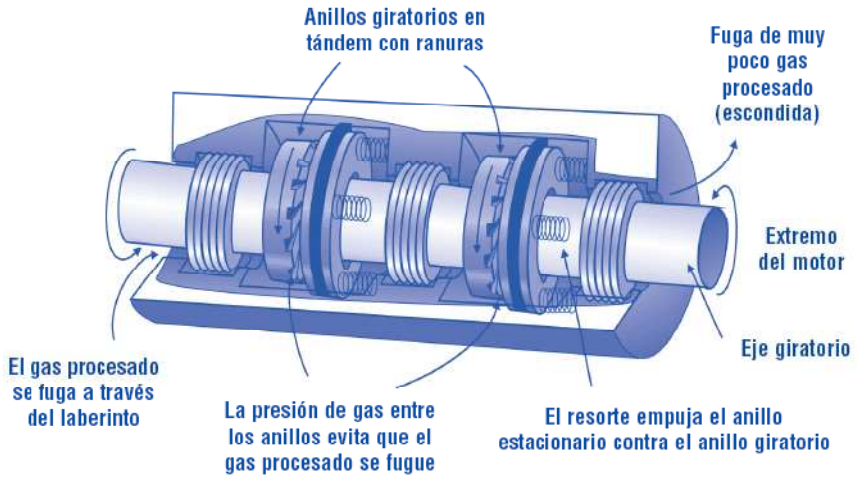
Figura I.19 Sellos secos en compresores.



Fuente: (EPA, 2010)

Los sellos secos pueden ser utilizados en diferentes arreglos (sencillo, doble o en tándem) que dependen de la aplicación en la que se utilicen. El arreglo en tándem se utiliza comúnmente en la industria del gas natural. Este arreglo está formado por varias etapas que sellan el eje.

Figura I.20 Sello seco en tándem



Fuente: (EPA, 2010)

I.5 Calentamiento de procesos y generación de vapor

El equipo de calentamiento de procesos en la industria basado en combustibles fósiles se utiliza para calentar materiales bajo condiciones controladas. El calor se genera a partir de la combustión de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y es transferido al material de manera directa o indirecta.

I.5.1 Quemadores

Los quemadores son uno de los dispositivos industriales más utilizados, ya que representan el elemento base de calderas, hornos, secadores, calcinadores, entre otros. El cambio de los quemadores elevados existentes en refinerías y centros petroquímicos de Petróleo Mexicanos por quemadores más eficientes, lo que podría traducirse en un ahorro de 1.26 millones de toneladas de CO_2 anuales.

Para sistemas que utilizan gas como combustible, los quemadores se clasifican en quemadores de pre-mezcla con aire y quemadores sin pre-mezcla.

Quemadores de pre-mezcla total de aire. Estos quemadores aspiran el aire mezclándolo totalmente con el gas. El aire es arrastrado por el combustible que entra al quemador. El aire entra por un pequeño orificio en el quemador a una gran velocidad y se mezcla con el combustible para ser quemado a la salida del quemador. Para lograr un mejor control de la flama y una mayor temperatura de combustión, se introducen el combustible y el aire a presión. Existe una gran variedad de quemadores de este tipo incluyendo quemadores de hornos, antorchas, quemadores lanzallamas y quemadores de llama plana.

Quemadores de pre-mezcla parcial. Estos quemadores tienen una sección de pre-mezcla de combustible y aire, además de la entrada de aire alrededor de la sección que sostiene la flama.

Quemadores con tobera. A medida que el tamaño de los quemadores crece, es posible realizar la mezcla del aire y del combustible fuera del quemador. Este tipo de quemador es el más común en la industria y en ellos, el aire y el combustible se encuentran separados hasta que se mezclan rápidamente para hacerse reaccionar. Estos quemadores permiten trabajar con una gran gama de relaciones aire/combustible, así como una gran gama de formas de flama.

Quemadores de etapas. Estos quemadores se utilizan para poder controlar la transferencia de calor y la producción de óxidos de nitrógeno. En estos quemadores, se tienen varias etapas que inyectan aire y combustible.

El petróleo se quema a través de la atomización del combustible. El combustible líquido que se encuentra en forma de gotas después de ser atomizado se evapora y el vapor reacciona con el aire. Básicamente, los atomizadores pueden clasificarse en atomizadores a presión y atomizadores de doble fluido.

Atomizadores a presión. Este tipo de atomizador, inyecta el combustóleo a alta presión y es más efectivo para combustóleo ligero. El tipo más común de atomizador es el atomizador de remolino. En este equipo, el líquido entra de manera tangencial y se arremolina a grandes velocidades.

Atomizador de doble fluido. Estos atomizadores inyectan combustóleo a mediana presión, pero la atomización es asistida por otro fluido como aire o vapor.

Folio No. 0057

Existen dos configuraciones a través de las cuales se lleva a cabo la mezcla de combustible y gases. En la primera, el vapor o aire se desplaza a muy alta velocidad y se combina con el combustóleo antes de salir de la tobera. En la segunda, el combustóleo se combina con el gas una vez que sale dentro de la tobera. En los sistemas de combustión industriales, el fluido preferido es el vapor de agua.

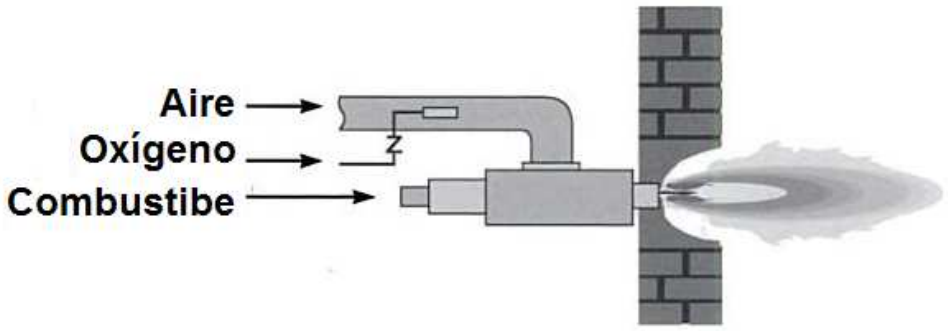
Muchos de los quemadores de combustóleo pueden quemar una mezcla de gas y combustóleo. Un ejemplo de quemador moderno es el quemador de corriente forzada de aire que quema una mezcla gas/combustóleo y tiene bajas emisiones de NO_x. Este quemador es un diseño que tiene tres etapas de aire. La emisión de carbono no quemado puede ser reducida a través de un menor tamaño de gotas de combustible, calentar el combustible a mayores temperaturas para reducir su viscosidad o incrementando la temperatura de combustión del aire.

I.5.1.1 Quemadores aire/oxígeno

Los quemadores antes mencionados utilizan la mezcla tradicional aire/combustible. Es posible incorporar a los quemadores un oxidante rico en oxígeno, y es por ello que se han desarrollado quemadores de combustión mejorada con oxígeno. Existen mejoras en la incorporación de oxidantes ricos en oxígeno, ya que la eficiencia térmica aumenta y se reduce el volumen de gases de combustión y contaminantes.

En estos sistemas, el oxígeno se inyecta al aire que se suministrará para la combustión a través de un difusor para asegurar el mezclado de los dos (ver Figura I.21). Esta tecnología puede ser adicionada a los quemadores existentes.

Figura I.21 Quemador de combustión mejorada con oxígeno.



Fuente: (Baukal, 2010)

El uso de quemadores que utilizan oxígeno con una pureza alta es una opción más a la reducción de emisiones de gases contaminantes y a la mejora en la productividad y eficiencia de la combustión.

I.5.2 Hornos

Los hornos son de gran importancia en la industria ya que el calentamiento, secado, fundición y reacción de materiales de proceso depende de ellos. Existen diversos tipos de equipos que funcionan a base de combustibles fósiles que son utilizados en diferentes industrias y pueden ser clasificados de acuerdo a las siguientes características:

- Modo de operación (intermitente o continuo)
- Tipo de método o elemento de calentamiento
- Sistema de manejo de materiales.

Tabla I.4 Descripción del equipo de calentamiento de procesos.

Método de clasificación de hornos	Descripción	Equipo / Aplicación Comentarios	Industrias
Intermitente versus Continuo			
Intermitente	En estos procesos se tiene una sola carga calentada a la vez.	Hornos utilizados en casi todas las industrias para una gran variedad de procesos de calentamiento y enfriamiento.	Acero, Aluminio, Química, Alimentos.
Continuo	La carga se mueve continuamente a través del proceso. Se pueden tener varios procesos de calentamiento sucesivos. Un horno continuo tiene la habilidad de operar de manera no interrumpida.	Hornos utilizados en casi todas las industrias para una gran variedad de procesos de calentamiento y enfriamiento.	Casi todos los sectores de manufactura.
Tipo de método de calentamiento			
Fuego directo	Los materiales son expuestos directamente a la fuente de calor o productos de la combustión.	Hornos de fuego directo que utilizan gas, combustibles sólidos, combustibles líquidos, hornos calentados eléctricamente.	Casi todos los sectores de manufactura.
Calentamiento indirecto	Se separa la fuente de energía del material a calentar y utilizan aire, gases o fluidos, como medio de transferencia de energía.	Hornos de tratamiento de térmico, reactores químicos, columnas de destilación, hornos de baño de sales, etc.	Metales, Química.

Folio No. 0059

Método de clasificación de hornos	Descripción	Equipo / Aplicación Comentarios	Industrias
Sistema de manejo de material			
Sistemas de calentamiento de fluidos	Sistemas en los que un fluido de proceso es bombeado a través de tubería localizada dentro del sistema de calentamiento.	Sistemas de calentamiento con líquidos o gases incluyendo calentadores de fluidos, calderas.	Refinación de Petróleo, Química, Alimentos, Minera.
Transportador, sistema de rodillos, cubetas, bandas.	En estos sistemas el material o su contenedor viajan a través del sistema de calentamiento en bandas transportadoras o rodillos.	Hornos continuos utilizados para el calentamiento de metales, tratamiento térmico, secado, curado, etc.	Metales, Química, Celulosa y Papel, Minera.
Hornos rotatorios, calentadores	El material viaja a través de tambores rotatorios mientras es calentado o secado.	Hornos rotatorios utilizados en cemento, caliza, tratamiento de calor, industria química y de alimentos.	Minera, Metales, Química.
Horno de eje vertical	El material viaja del fondo a la parte superior del equipo mientras es calentado por contacto directo o a través de la cubierta de la cámara de fluidización.	Alto horno, cúpulas, calcinador de eje vertical, gasificadores de carbón.	Metales, Procesamiento de Minerales, Refinación de Petróleo
Horno de hogar rotatorio	El material se coloca sobre una placa giratoria mientras se calienta.	Hornos utilizados para el calentamiento de metales o cerámicos, tratamiento térmico de acero y otros materiales, mineral de hierro.	Metales
Horno de solera móvil	El material es transportado a través del horno utilizando vigas especiales.	Utilizado primariamente para grandes cargas, como el recalentamiento de lingotes, planchas, molduras de acero.	Metales (Acero)
Horno con carro	El material se coloca sobre un soporte movible que viaja a través del horno en dirección vertical y horizontal.	Utilizado para calentamiento, tratamiento térmico en materiales de metales, cerámicos y otras industrias.	Metales, Química, Cerámicos

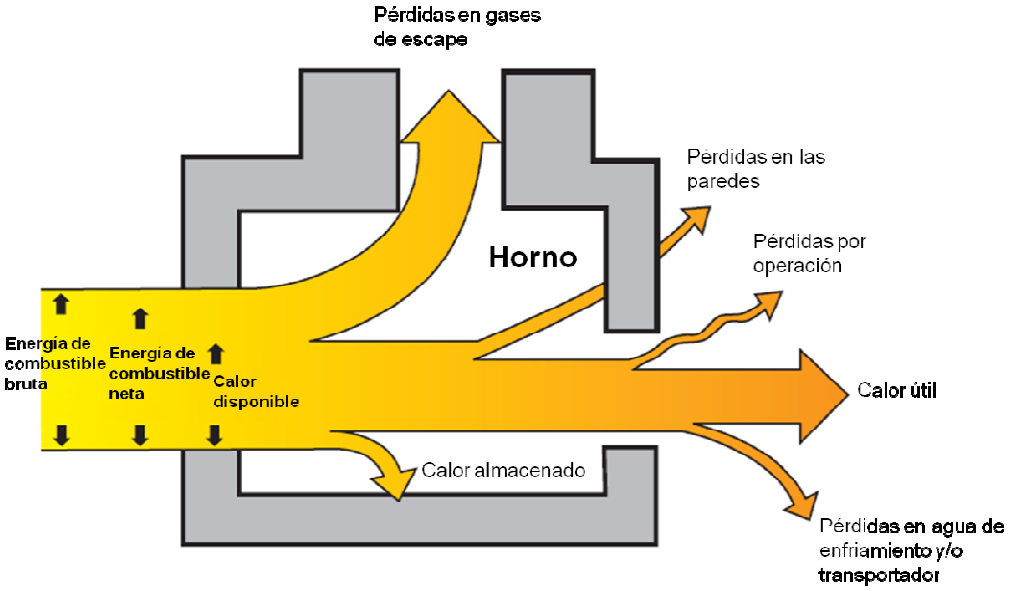
Folio No. 0060

Método de clasificación de hornos	Descripción	Equipo / Aplicación Comentarios	Industrias
Sistema de manejo de material			
Hornos de cinta continua	El material viaja a través del horno en forma horizontal o vertical en forma de hoja.	Hornos continuos utilizados para el calentamiento de metales, tratamiento térmico, secado, curado.	Celulosa y Papel, Química, Minera
Sistemas de manejo vertical	El material es sostenido por un sistema de manejo de material vertical.	Calentamiento de materiales y tratamiento térmico, batch vertical, hornos de baño de sales.	Metales, Química, Minera

Fuente: (DOE/EERE, 2007)

El desempeño y eficiencia de procesos de calentamiento basados en combustibles fósiles puede ser descrito a través del uso de un diagrama de pérdidas de energía.

Figura I.22 Diagrama de pérdidas de energía en un horno.



Fuente: (DOE/EERE, 2007)

La generación de calor convierte la energía química en energía térmica y la transfiere a los materiales que se están tratando. Las oportunidades de mejora relacionadas con la generación de calor hacen énfasis en las pérdidas que están asociadas con la combustión y la transferencia de energía del combustible al material. De acuerdo con el estudio para el PRONASE (Centro Mario Molina, 2009a), que realizó el Centro Mario Molina, se identificaron las mejores prácticas y tecnologías para el calentamiento de procesos.

- Eliminación de fugas de aire en el horno y presión positiva en el horno
- Modificación al horno para recuperar gases de salida
- Recuperación de calor de gases de salida a procesos de menor temperatura

A continuación se hace una descripción de las tecnologías que pueden lograr una mayor eficiencia energética en el calentamiento de procesos.

I.5.2.1 Reducción de fugas de aire en el horno y presión positiva en el horno

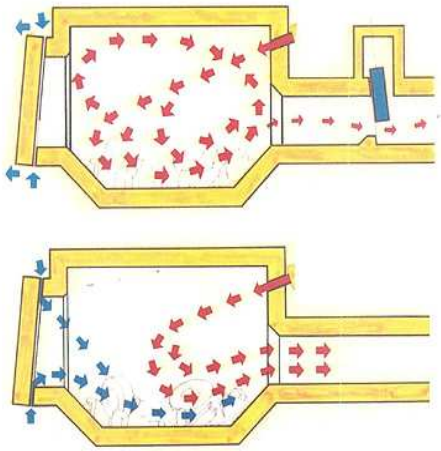
Los gases que son producto de la combustión y que salen del horno son menos densos que el aire, por lo que se elevan y crean una diferencia de presión entre la parte superior de la chimenea y la parte inferior del horno. Este diferencial crea presión negativa en el horno.

El diseño adecuado de hornos evita la fuga de gases de combustión al exterior y la entrada de aire frío al horno. Con el tiempo, la mayoría de los hornos desarrollan rupturas y aberturas alrededor de las puertas, juntas y sellos. Estas aberturas son muy pequeñas por lo que se consideran como insignificantes, pero la presión negativa hace que entre aire frío, utilizándose más energía para calentar ese aire que sale a la temperatura de los gases de combustión, dando como resultado el desperdicio de combustible. La entrada de aire frío también causa oxidación excesiva de los metales u otros materiales presentes en los hornos.

La reducción de fugas en el horno puede lograrse a través de controladores de presión. Los controladores de presión regulan y estabilizan la presión en la cámara de combustión de equipo de calentamiento de procesos. Estos sistemas utilizan un manómetro en la cámara del horno y regulan el flujo de aire que entra al horno para mantener una presión positiva en la cámara de combustión. La velocidad del flujo de aire puede ser regulada a través de la variación de la velocidad de los ventiladores del aire de combustión o cambiando los parámetros de la compuerta de tiro para los gases de combustión de salida o el aire de entrada. Los controladores de presión pueden ser automáticos o manuales. Un sistema automático tiene un ciclo de retroalimentación, y monitorea y regula la presión a través de un sistema de control electrónico. Una compuerta barométrica es un sistema económico para un horno con chimenea de tiro natural.

Folio No. 0062

Figura I.23 Esquema de un horno con control de presión (superior) y esquema de un horno con presión negativa (inferior).



Fuente: (De Winter Engineering, 2010)

I.5.2.2 Sistemas de recuperación de calor residual para hornos

En los hornos, al quemar los combustibles, una parte del calor es aprovechada hasta que se llega al límite de transferencia de calor a los materiales y el resto se desecha en los gases de escape que salen de la chimenea. Para aumentar la eficiencia energética de los procesos, es posible aprovechar el calor residual para utilizarlo en otros procesos.

Los sistemas más comunes que se utilizan para aprovechar el calor de los gases de escape incluyen el precalentamiento del aire de combustión, generación de vapor y precalentamiento de la carga y calentamiento en procesos de menor temperatura.

Precalentamiento del aire de combustión. El precalentamiento del aire de combustión se realiza comúnmente a través de intercambiadores de calor gas-gas que se colocan en la chimenea del horno utilizando los gases de escape. Los diseños incluyen intercambiadores de tubos o placas para transferir el calor de los gases de escape. Otra manera de utilizar el calor residual, es a través de un regenerador. Éste es un contenedor aislado que está lleno de materiales metálicos o cerámicos que absorben y guardan calor.

Generación de vapor y calentamiento de agua. Se utilizan sistemas similares a las calderas convencionales para la generación de vapor o agua caliente. La diferencia radica en que estos equipos tienen un tamaño mayor ya que la temperatura con la que salen los gases de escape del horno es menor que en las calderas convencionales. Las calderas de recuperación de calor residual se pueden utilizar en casi todos los hornos y existen materiales y diseños especiales que resisten gases corrosivos.

Precalentamiento de la carga. Si los gases que dejan la parte más caliente del proceso pueden ser puestos en contacto con la carga, se transferirá energía precalentándola y reduciendo el consumo de energía. El precalentamiento de la carga tiene el potencial más grande, pero son difíciles de instalar y son más convenientes para sistemas continuos.

Folio No. 0063

Calentamiento de procesos de menor temperatura. La energía de los gases de escape puede ser utilizada para calentar procesos que requieren calentamiento pero a menores temperaturas. Un ejemplo es la generación de vapor utilizando calderas de calor residual para los calentadores de fluidos utilizados para la refinación de petróleo. Muchas empresas instalan intercambiadores de calor a la salida de hornos para producir agua caliente o aire caliente para calefacción.

I.5.3 Calderas

La generación de vapor es muy importante para el sector industrial y de servicios, ya que es utilizado en una gran cantidad de procesos que incluyen el calentamiento, reacciones químicas, fraccionamiento de hidrocarburos y accionamiento mecánico. Las calderas son el equipo utilizado para la generación de vapor, que provee la superficie de transferencia entre los gases generados a partir de la combustión y el agua.

De acuerdo con estimaciones hechas por el Centro Mario Molina, la rehabilitación de calderas en centro procesadores de gas natural podría implicar una mejora en la eficiencia entre el 5 y 7%. Asimismo, la repotenciación de calderas podría lograr un aumento de la generación entre 10 y 15%. De rehabilitarse dos terceras partes de las calderas existentes en refinerías y centros petroquímicos de Petróleos Mexicanos, podrían reducirse emisiones de 1.65 millones de toneladas de CO_2 al año. Existen dos tipos básicos de calderas: acuatubular y pirotubular.

Calderas pirotubulares. En este tipo de calderas, los gases de combustión fluyen dentro de los tubos de la caldera, mientras que el agua fuera de los tubos, del lado de la coraza. La mayoría de las calderas son de forma cilíndrica y en su interior tienen los tubos que transfieren la energía de los gases de combustión al agua que se encuentra en contacto con parte exterior de los tubos.

Precalentamiento de la carga. El agua en estas calderas fluye por el interior de los tubos, mientras que los gases de combustión fluyen por la parte de la coraza. Estos equipos se utilizan para la generación de vapor a altas presiones debido a que los tubos resisten una presión mayor en su interior que en su exterior, lo que hace que tengan aplicaciones en las que se requiere vapor seco de alta presión y energía, incluyendo la generación de electricidad.

Figura I.24 Caldera de vapor.

Fuente: (California Air Resources Board, 2010)

Calderas de recuperación de calor residual. Estas calderas pueden ser acuotubulares o pirotubulares y utilizan el calor no aprovechado de los gases de combustión en distintos procesos.

Generador de vapor por recuperación de calor (HRSG). El calor contenido en los gases de combustión generados en una turbina de gas puede ser recuperado con el uso de intercambiadores de calor (generadores de vapor) para generar vapor utilizable en diferentes procesos. Si el requerimiento de vapor excede el suministro del generador, se puede quemar combustible adicional que pueda complementarlo.

Sobrecalentadores y recalentadores. Un sobrecalentador calienta el vapor más allá de su nivel de saturación para reducir su humedad y así evitar la corrosión de las aspas de turbinas. Las diferentes condiciones de presión y temperatura hacen que en algún momento se tenga humedad, por lo que se remueve vapor de la turbina para recalentarlo a presión constante. Los sobrecalentadores pueden ser convectivos o radiantes. En los primeros, se transfiere energía de los gases de combustión, mientras que en los segundos el calor se transfiere directamente de la flama generada por la combustión.

Economizadores. Los economizadores aprovechan la energía de los gases de combustión que se descargarán a la atmósfera, para calentar el agua de alimentación al generador de vapor.

Las calderas son uno de los equipos más utilizados en la industria y el sector servicios, y existen tecnologías que pueden mejorar el aprovechamiento de los combustibles. El Departamento de Energía de los Estados Unidos recomienda diferentes estrategias para el ahorro de energía en las que se incluyen:

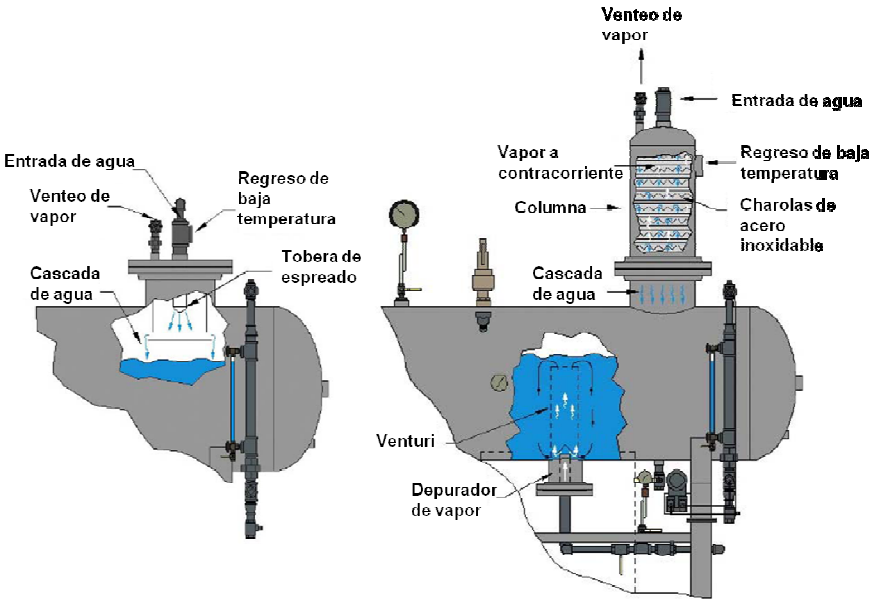
- Eliminación de gases disueltos en sistemas industriales
- Turbinas de retro – presión
- Quemadores de alta eficiencia
- Trampas de vapor

I.5.3.1 Eliminación de gases disueltos en sistemas industriales

El oxígeno disuelto en el agua que alimenta las calderas junto con el CO_2, puede causar corrosión en las calderas. Para evitar lo anterior, existen equipos que remueven estos gases disueltos de manera mecánica. Estos equipos calientan el vapor hasta la temperatura de saturación del agua removiendo los gases disueltos. Lo anterior puede ocurrir de dos maneras. En la primera, a medida que entra el agua por la parte superior del equipo, el agua baja en forma de cascada por diferentes bandejas poniéndose en contacto con una corriente de vapor que sube. El vapor remueve el oxígeno y el CO_2 del agua, y en el fondo del equipo el agua se manda a la caldera. En la segunda, el proceso es el mismo con la diferencia de que se utiliza agua espreada a contracorriente.

Folio No. 0065

Figura I.25 Equipo de eliminación de gases. Espreado (izquierda). Charolas (derecha).



Fuente: (Parker Industrial Boiler, 2010)

I.5.3.2 Turbinas de retro – presión

En muchos procesos, el vapor generado por una caldera se encuentra a una presión mayor a la que se requiere. Para disminuir la presión de acuerdo a las necesidades de los procesos, se utilizan válvulas, desaprovechando la energía del vapor. Una opción al uso de válvulas es el uso de turbinas de retro – presión de manera que se pueda disminuir la presión aprovechando la energía del vapor al generar electricidad. En una turbina de retro – presión, una tobera dirige el chorro de vapor de alta presión a las aspas de la turbina, accionando un generador de electricidad. El uso de estos equipos puede aumentar la eficiencia energética en 1 a 3%.

I.5.3.3 Quemadores de alta eficiencia

Una caldera será eficiente si el quemador es eficiente. Los quemadores mezclan de manera mecánica combustible y aire de combustible, inyectando la mezcla a la cámara de combustión. Dependiendo del diseño, los quemadores requieren diferentes cantidades de exceso de aire. Un quemador de gas natural eficiente utiliza únicamente entre 2 y 3% de oxígeno en exceso, o 10 y 15% para aire. Un quemador eficiente, provee la mezcla aire – combustible adecuada para un gran rango de regímenes de fogueo. Muchos quemadores no mantienen la misma razón aire – combustible todo el tiempo y utilizan servomotores para controlar la cantidad de combustible y aire que se va a quemar.

I.5.3.4 Trampas de vapor

En los procesos que utilizan vapor, el uso de trampas de vapor se presenta como una gran oportunidad de mejora de eficiencia. El Centro Mario Molina, estima que, de realizarse un cambio del 50% de las trampas de vapor instaladas en las plantas de Petróleos Mexicanos, la reducción de las emisiones de CO_2, podría ser de 133 mil toneladas anuales.

Las trampas de vapor tienen como función drenar el condensado que se forma en los procesos de generación de vapor de manera que no se retenga en los equipos, mejorando la transferencia de energía para generar vapor además de evitar el golpe de ariete que daña los equipos. Las trampas de vapor se clasifican generalmente en tres grupos: trampas mecánicas, trampas termostáticas, y trampas termodinámicas. El primer tipo de trampas trabajan bajo el principio de diferencia de densidad entre el vapor y el condensado o aire. El segundo tipo se basa en la diferencia de temperaturas entre el condensado y el vapor; y finalmente el tercer tipo se basa en las características de flujo de líquidos y vapores.

I.5.3.5 Trampas mecánicas

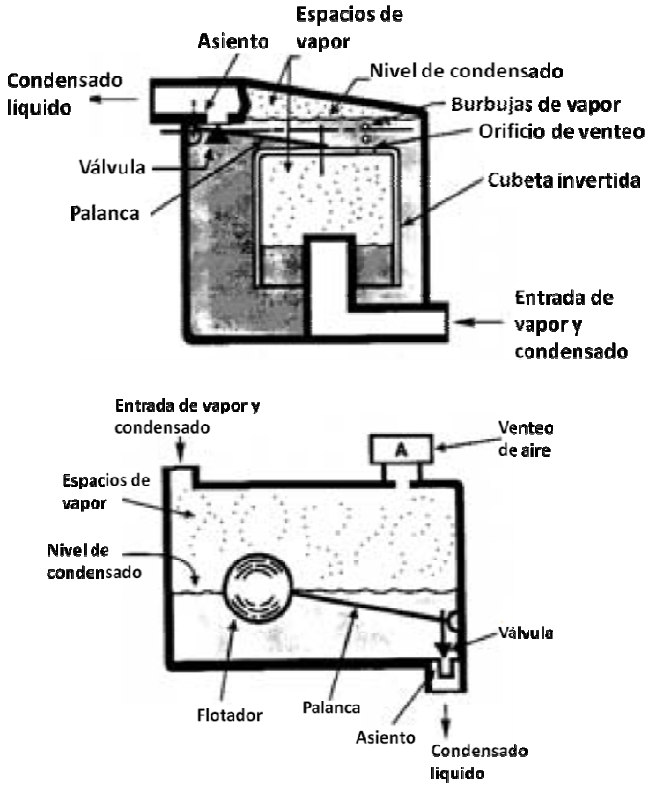
Las trampas de vapor mecánicas que se utilizan comúnmente en la industria son las de cubeta invertida y de flotador y termostática.

Trampa de cubeta invertida. Consiste en una cubeta invertida que está colocada dentro de una cámara y sobre la línea de entrada. Inicialmente la trampa se encuentra llena de condensado, y una vez que el vapor entra a la cámara, éste levanta la cubeta que está acoplada a una válvula. Este movimiento ocasiona que la válvula se cierre y el condensado que se encuentra en la trampa hace que el vapor que es atrapado también condense. Esto causa el movimiento de la cubeta hacia abajo, abriendo la válvula y dejando salir el condensado.

Trampa de flotador y termostática. Este tipo de trampas funcionan bajo el mismo principio, pero en este caso, se utiliza un flotador que sube y baja al igual que la cubeta. La densidad del aire es similar a la del vapor, y es por ello que se utiliza un elemento termostático en la parte superior de la trampa. Cuando baja la temperatura en la trampa, ésta se contrae y deja salir el aire, mientras que cuando entra el vapor, se expande y sella la salida.

Folio No. 0067

Figura I.26 Trampas mecánicas. Cubeta invertida (superior) y Flotador y Termostática (inferior)



Fuente: (DOE/EERE, 2008)

Consiste en una cubeta invertida que está colocada dentro de una cámara y sobre la línea de entrada. Inicialmente la trampa se encuentra llena de condensado, y una vez que el vapor entra a la cámara, éste levanta la cubeta que está acoplada a una válvula. Este movimiento ocasiona que la válvula se cierre y el condensado que se encuentra en la trampa hace que el vapor que es atrapado también condense. Esto causa el movimiento de la cubeta hacia abajo, abriendo la válvula y dejando salir el condensado.

I.5.3.6 Trampas termostáticas

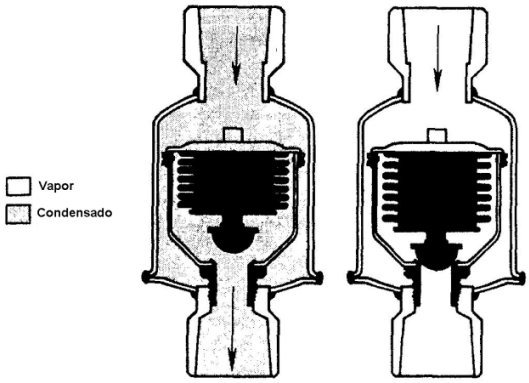
Las trampas termostáticas son dos tipos: de fuelle y de bimetálico.

Trampa de tipo de fuelle. Estas trampas tienen un fuelle que se expande o contrae como respuesta a cambios de temperatura del fluido que se encuentran en la cámara y rodea el fuelle. Cuando entra condensado a la trampa, el fuelle se contrae y deja salir el condensado. Con la presencia de vapor, el fuelle se expande y cierra la salida de la trampa. El aire sale de la trampa debido a que éste se encuentra a una temperatura menor a la del vapor.

Folio No. 0068

Trampa de tipo bimetálica. El funcionamiento de este tipo de trampas está basado en el doblamiento de una tira hecha de dos metales para abrir y cerrar una válvula. Esta tira metálica acciona una válvula dependiendo de la temperatura del fluido que existe dentro de ella. Al encontrarse a la temperatura del vapor, la trampa se cierra y ésta no se abre hasta que el condensado alcanza una temperatura que hace que la tira metálica accione la válvula.

Figura I.27 Trampa termostática.



Fuente: (Turner, 2006)

I.5.3.7 Trampas termodinámicas

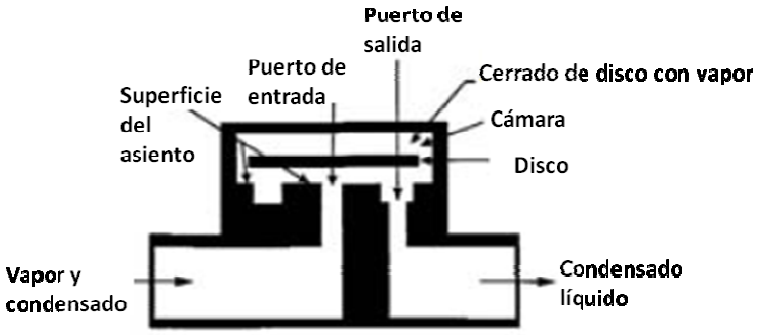
Las trampas termodinámicas se clasifican en trampas de disco y trampas de orificio.

Trampa de disco. El diseño de estos dispositivos es sencillo y están formados por un disco que cubre el orificio de entrada. El condensado o aire que llega al orificio de entrada a una velocidad baja, levanta el disco de su asiento, pasando a través de la trampa. Al contrario, cuando llega vapor a velocidad alta, éste entra en los espacios del disco y de su asiento, lo que causa un aumento de presión sellando la trampa.

Trampa de orificio. Su funcionamiento está basado en la obstrucción al flujo de condensado. Este tipo de trampas consisten en una placa que tiene un orificio. La presión del sistema de vapor hace que condensado pasar por el orificio hacia la sección que lo regresará al sistema. Es posible que llegue a pasar cierta cantidad de vapor por el orificio y es por ello que se necesita diseñar el tamaño del mismo de tal manera que no deje pasar vapor.

Folio No. 0069

Figura I.28 Trampa termodinámica.



Fuente: (DOE/EERE, 2008)

Tabla I.5 Características y aplicaciones de las trampas de vapor.

Tipo	Características	Aplicación
Disco	1) Pequeña y de peso bajo 2) Pérdida de vapor en operación	Tubería de vapor y cabezal de tubos
Flotador	1) Descarga continua 2) Debe de ser seleccionada de acuerdo a la aplicación	Intercambiadores de calor, en lugares en los que hay grandes cantidades de condensado, tuberías principales
Cubeta invertida	1) Operación sensible 2) Pérdida de vapor pequeña 3) Las fugas ocurren con pequeñas cantidades de condensado	Intercambiadores de calor
Bimetálica	1) Se Puede fijar la temperatura del condensado 2) Se puede recolectar el condensado	Trazador
Fuelle	1) Presión baja 2) De bajo costo 3) Problemas con la durabilidad	Calentamiento

Fuente: (NEDO, 2008)

Folio No. 0070

I.5.4 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor, son ampliamente utilizados en la industria y realizan la transferencia de calor entre corrientes de fluido de distintas temperaturas sin mezclarlos. En la actualidad existen nuevos diseños y materiales que mejoran la transferencia de calor entre las corrientes, disminuyendo pérdidas de energía.

Las instalaciones industriales de refinación de petróleo y las plantas petroquímicas utilizan grandes intercambios de calor, en ellos existe un gran potencial de ahorro si se utilizan cambiadores modernos más eficientes. Por ejemplo, sólo en Petróleos Mexicanos, el uso de intercambiadores de calor eficientes podría lograr una mejora energética de entre el 8 y el 12%, disminuyendo las emisiones anuales de CO_2 hasta por 134 mil toneladas.

I.5.4.1 Tipos de intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor se clasifican generalmente por la geometría de su construcción. Tradicionalmente, los intercambiadores de calor más utilizados en la industria han sido los intercambiadores tubulares y en especial los de doble tubo y de coraza y tubos.

I.5.4.2 Intercambiadores de calor de doble tubo

Están formados por un tubo colocado concéntricamente dentro de otro tubo de mayor diámetro. Uno de los fluidos fluye por el interior del tubo de menor diámetro, mientras que el otro fluye por el espacio entre los dos tubos. Estos equipos se utilizan para fluidos que tienen una presión alta y presentan la desventaja de que ocupan mucho espacio y el costo por unidad de energía transferida es alto.

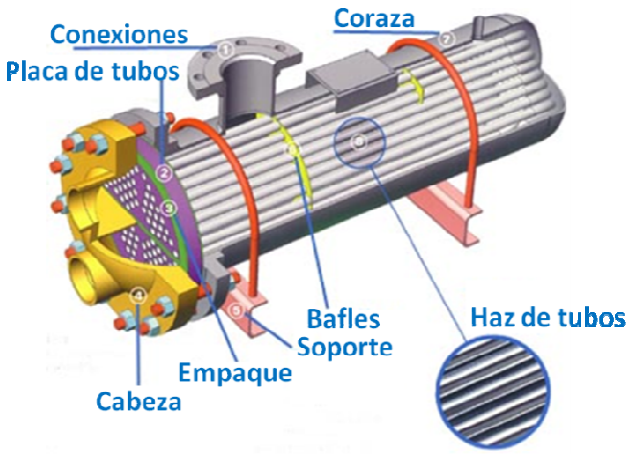
Figura I.29 Intercambiador de calor de doble tubo.

Fuente: (APV, 2010)

I.5.4.3 Intercambiadores de calor de coraza y tubos

Consisten de una serie de tubos paralelos, sostenidos por una placa en cada extremo dentro de un cuerpo que tiene diseño cilíndrico, llamado coraza. Cada extremo del conjunto tiene una tapa toriesférica con entrada y salida para la corriente de fluido que pasa por el interior de los tubos. La entrada y salida para la otra corriente de fluidos que pasa por el exterior de los tubos, se encuentra en la coraza, muy cerca de las placas de entrada y salida de los tubos.
Existen varios arreglos de flujo para este tipo de intercambiadores dependiendo de los requerimientos de transferencia de energía, caída de presión, ensuciamiento, técnicas de manufactura, costos, control de la corrosión, y problemas de limpieza y pueden ser diseñados dependiendo de las necesidades de los diferentes procesos. Estos equipos emplean diferentes mecanismos para promover mayor transferencia de energía como el uso de bafles.

Figura I.30 Intercambiador de calor de coraza y tubos.



Fuente: (Rudnap Group, 2010)

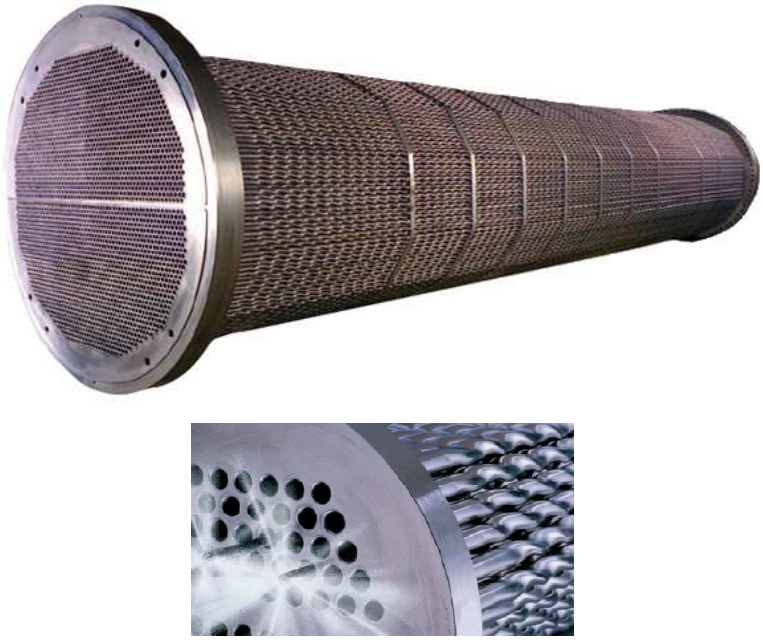
I.5.4.4 Intercambiadores de calor eficientes

La transferencia de calor ocurre de la corriente con mayor temperatura a la que tiene la menor temperatura y su magnitud es directamente proporcional a la magnitud de la diferencia de temperaturas e inversamente proporcional a la magnitud de la resistencia a esa transferencia. El diseño de equipos de transferencia de calor, busca reducir la resistencia y mejorar la transmisión a través del aumento de turbulencia.
La utilización de metales que tienen una mayor conducción térmica como cobre y aluminio y sobre todo aleaciones sofisticadas que además resisten la corrosión podrá mejorar la transferencia de calor. El diseño de nuevos equipos y la adición de accesorios que puedan por ejemplo originar una mayor turbulencia, complementarán el uso de materiales más eficientes.

I.5.4.5 Intercambiadores de calor de tubos torcidos

El uso de intercambiadores de coraza y tubos constituye una gran parte de los intercambiadores de calor utilizados en la industria. Los intercambiadores de tubos torcidos son intercambiadores de calor de coraza y tubos que no tienen bafles y cuyos tubos están arreglados de tal forma que se soportan por sí mismos. La característica que distingue a este tipo de intercambiadores es que los tubos utilizados tienen un diseño torcido y pueden ser construidos a partir de distintos materiales como acero al carbón, acero inoxidable, titanio, cobre y aleaciones de níquel. Este diseño presenta diferentes ventajas como un desempeño térmico – hidráulico mejor, mayor efectividad térmica, menor ensuciamiento y mayor facilidad de limpieza, y reducción de la vibración.

Figura I.31 Intercambiador de calor de tubos torcidos.

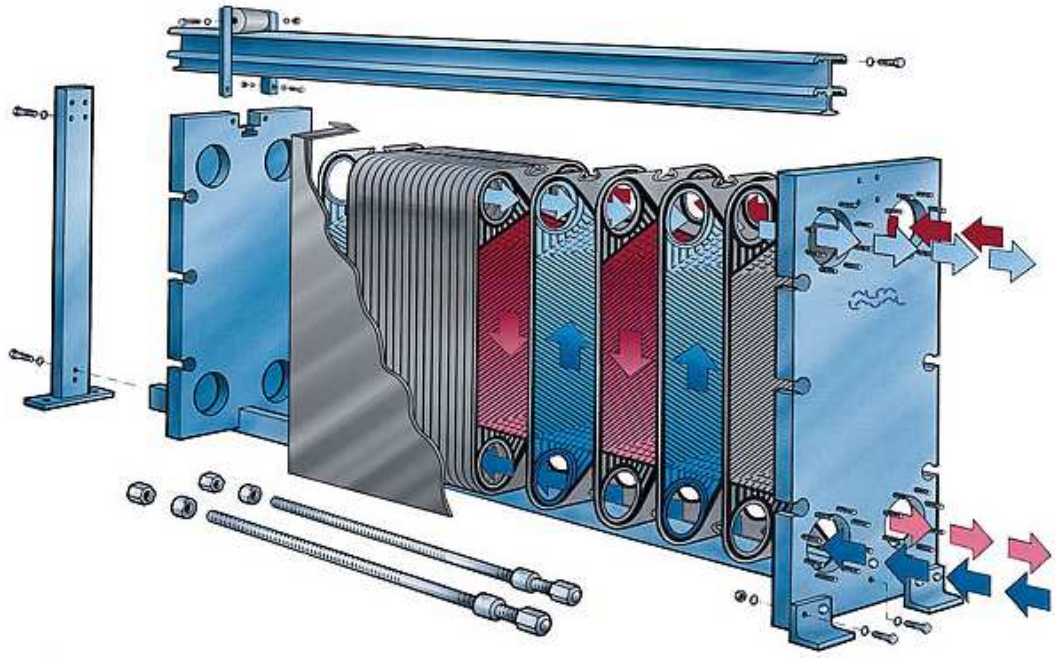


Fuente: (APV, 2010)

I.5.4.6 Intercambiadores de calor de placas y marco

Los intercambiadores de calor de placas y marco, fueron inventados en la década de 1930, pero alcanzaron su madurez en la década de 1960 con el desarrollo geometrías de placas y mejores materiales de empaquetamiento. Este tipo de intercambiadores compite con los intercambiadores tradicionales ya que logran una gran transferencia de energía y son capaces de ajustarse a las demandas de un gran número de industrias. La Figura I.32 muestra la estructura de un intercambiador de placas y marco. Este tipo de intercambiadores utilizan una serie de placas corrugadas en las cuales se lleva a cabo la transferencia de energía y poseen una parte de entrada y salida de fluidos.

Figura I.32 Intercambiador de calor de placas y marco.



Fuente: (Robson Industries Inc., 2010)

Alfa Laval, posee un diseño que combina un recipiente a presión y un intercambiador de calor de placas. En este intercambiador, la transferencia de energía se lleva a cabo en el bloque de placas. Este bloque esta dentro del recipiente que contiene un líquido que mantiene la presión dentro del equipo. La operación de este tipo de intercambiador es segura, además de la probabilidad de que existan fugas es pequeña.

Figura I.33 Intercambiador de calor Packinox.

Fuente: (Alfa Laval, 2010)

I.5.5 Aplicación de los procesos de calentamiento en la industria y los servicios

A continuación se presentan algunos ejemplos de industrias que han hecho mejoras en sus equipos de calentamiento.

Planta de ExxonMobil en Apapa. En 1998, se agregaron trampas de vapor adicionales a la planta de producción de vaselina de ExxonMobil en Apapa, Nigeria. Las trampas de vapor mejoraron la transferencia de energía y redujeron la cantidad de tiempo necesario para calentar adecuadamente el horno de tambor. Se determinó que el condensado no estaba saliendo del horno, lo que causaba que el equipo trabajara ineficientemente y necesitara un tiempo muy largo de calentamiento. Se instalaron trampas de vapor adicionales (de flotador y termostáticas), lo que mejoró el funcionamiento del equipo. La producción aumento al doble y las ganancias adicionales fueron de 52,500 dólares con respecto al año anterior (DOE/EERE, 2002).

Planta de procesamiento de alimentos. Para reducir el consumo de energía, la compañía J.R. Simplot completó un proyecto en el año 2003, en el que incremento la eficiencia del sistema de producción de vapor en su planta de procesamiento de papas en Caldwell, Ohio. Las acciones tomadas en la planta ahorran 526,000 kWh y 329,000 dólares anualmente. Después de un análisis de la planta se determinó que el exceso del aire de combustión era en promedio de 50%, además de que el contenido de oxígeno del gas de combustión era tan alto como 7.5%. Las acciones tomadas incluyeron la sustitución de quemadores y controles nuevos, así como de ventiladores de aire, y sistemas de compensación de oxígeno, entre otros. Después de estos cambios, el nivel de oxígeno en los gases de combustión bajó al 3% y el aire de combustión en exceso bajó al 10% (DOE/EERE, 2005).

Folio No. 0075

I.6 Aislantes térmicos de tubería y equipos

Los aislantes son materiales que retardan la transferencia de energía entre dos medios. Estos materiales retardan los procesos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) dependiendo de sus características térmicas. El aislamiento adecuado de equipo y tubería en la industria es de gran importancia para el ahorro de energía, ya que es posible reducir el consumo de combustibles, así como las pérdidas de energía en tubería y equipos industriales como calderas y hornos. De acuerdo con la información de fabricantes de aislantes, existen materiales que poseen una eficiencia de casi el 100% y pueden lograr ahorros de energía entre 2 y 4% de la energía generada para la producción de vapor. De utilizarse aislantes eficientes en la tercera parte de las refinerías y plantas petroquímicas del País, podría reducirse la emisión de 141 mil toneladas de CO_2 al año.

El desarrollo de mejores aislantes va de la mano con el desarrollo de nuevos materiales y actualmente existen diferentes tipos de aislantes que tiene una gran eficiencia. De acuerdo con la literatura, los materiales aislantes reducen por lo menos en un 90% las pérdidas de energía en comparación con superficies no aisladas. La Tabla I.6 hace una descripción de materiales aislantes utilizados en la industria.

Tabla I.6 Materiales aislantes utilizados en la industria.

Material	Descripción
Silicato de calcio	Este tipo de aislantes están hechos de cal y sílice, además de fibras que los refuerzan. Los aislantes hechos de este material presentan gran resistencia mecánica y durabilidad en aplicaciones de temperaturas altas y medianamente altas. Su desempeño es mejor comparado con otros materiales a temperaturas de operación altas.
Fibra de vidrio	La fibra de vidrio existe en una gran cantidad de formas, tamaños y límites de temperaturas. Casi todos están basados en sílice. Los sistemas de aglomerado utilizados incluyen aglomerados orgánicos de baja temperatura, orgánicos de alta temperatura que no arden y alfombras sin aglomerado. Los productos hechos con este material incluyen mantas flexibles, tableros semi-rígidos y cubiertas para tubería. La pérdida de aglomerado por su quema, reduce la resistencia mecánica del aislante, pero estos aislantes presentan gran integridad.
Fibra mineral / Lana de roca	Estos materiales se distinguen de los de fibra de vidrio, en el hecho de que las fibras están hechas de roca fundida o escoria en lugar de sílice. Estos materiales utilizan aglomerado similar al utilizado en aplicaciones con fibra de vidrio, pero los bloques de alta densidad y utilizan aglomerados de tipo arcilloso. Las fibras de lana mineral son mas refractarios (resistentes al calor) que la fibra de vidrio, por lo que pueden ser utilizados a mayores temperaturas. Sin embargo, las fibras de lana mineral son más cortas que las de vidrio, por lo que los productos contienen material que no se encuentra como fibra.

Folio No. 0076

Material	Descripción
Vidrio celular	Este producto está compuesto por millones de células de vidrio dando como resultado un material completamente inorgánico y rígido. Estos materiales no absorben líquidos o vapores, por lo que se incrementa la seguridad en aplicaciones en las que la humedad es un problema. El vidrio celular soporta la carga, pero es algo quebradizo, causando problemas en aplicaciones de vibración o elasticidad. A temperaturas altas, la ruptura por choque térmico puede ser problema. La conductividad térmica de este material es mayor a conductividad de muchos otros materiales, y tiene características que lo hacen ideal para aplicaciones específicas.
Perlita expandida	Este asilamiento está hecho de perlita que ha sido expandida a una temperatura alta para formar una estructura que contiene células de aire rodeadas por material vidrioso. Se utiliza aglomerado orgánico e inorgánico, además de fibras para dar soporte a la estructura. Estos materiales tienen una absorción baja de humedad. Los productos hechos con perlita son rígidos y soportan la carga, pero tienen menor resistencia a la compresión y tienen una conductividad térmica mayor que los productos hechos con silicato de calcio y además son más quebradizos.
Espumas de poliuretano / isocianurato	Estos dos tipos de espumas son rígidas y ofrecen la conductividad térmica más baja, lo que permite un grosor menor de aislamiento.
Espumas fenólicas	La conductividad térmica de estos materiales no es muy diferente a la conductividad de la fibra de vidrio. Son materiales rígidos que pueden eliminar la necesidad de soportes de silletas de tubería en líneas pequeñas. Los límites de temperatura de estos materiales los bajos.
Plástico celular elastomérico	Estos materiales combinan espumas de resinas con elastómeros para producir materiales flexibles de célula cerrada.
Fibra cerámica	Material refractario basados en alúmina-sílice que se encuentran disponibles en dos formas básica: de agua y unidos orgánicamente. Las mantas de agujas no contienen aglomerante conservando su resistencia mecánica y flexibilidad a temperaturas muy altas. Los fieltros unidos orgánicamente utilizan varias resinas permiten una gran resistencia a temperaturas bajas.
Ladrillo refractario	Estos productos se derivan de arcillas refractarias de alta pureza con alúmina. Este material es más ligero y retiene menor energía que refractarios densos y son superiores en términos de eficiencia térmica.

Fuente: (Turner, 2006)

I.6.1 Aplicaciones de aislantes en la industria

Los materiales aislantes utilizados comúnmente en calderas incluyen fibra de vidrio, lana mineral y silicato de calcio. Una vez que se coloca el material en la caldera, se coloca una estructura de aluminio a los refuerzos de la caldera. En complejos comerciales e industriales pequeños se utilizan comúnmente la fibra de vidrio y la lana mineral. En tuberías que transportan vapor, el aislamiento varía de acuerdo con la temperatura y su ubicación. Un material ampliamente utilizado es el silicato de calcio que es recubierto por un enchaquetado corrugado o liso de aluminio. La fibra de vidrio se utiliza en aplicaciones de vapor de baja presión. La lana mineral y la perlita expandida también pueden ser utilizadas para aplicaciones de vapor de temperatura más alta, pero el silicato de calcio es el material estándar utilizado en la industria. En los hornos las pérdidas de calor por radiación se minimizan con la utilización de ladrillo refractario. En la actualidad, también se están utilizando materiales ligeros hechos con fibra cerámica. El aislamiento de tubería y equipos reduce la pérdida de energía, y el siguiente caso ejemplifica la reducción de costos por combustible y el aumento de la eficiencia de procesos que se derivó a partir de su instalación.

Planta de producción de madera laminada de Georgia Pacific. La planta de producción se ubica en Madison, Georgia. En el año de 1999, se instalaron aislantes en las líneas de vapor, además de trampas de vapor. Originalmente, las líneas de vapor que van al secador no estaban aisladas, por lo que se emitía energía que era desperdiciada. Esto causaba una reducción de la temperatura y presión. Después de determinarse el grosor del aislamiento, se utilizó fibra de vidrio como material aislante. Los resultados del cambio incluyeron la eliminación de la necesidad de comprar combustible externo, reducción del uso de vapor,, además de que se redujo entre 5 y 6% la emisión de CO_2 a la atmósfera (DOE/EERE, 1999)..

II Normatividad internacional para reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

II.1 Antecedentes

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son la causa principal del calentamiento global de nuestro planeta y su reducción es uno de los principales objetivos de los acuerdos internacionales que se están negociando en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. El Protocolo de Kioto y los acuerdos que lo substituyan son parte de un esfuerzo normativo internacional para mitigar el cambio climático. Además de los esfuerzos de concertación internacional, muchos países ya han iniciado diversas acciones para disminuir la emisión de los GEI. Entre ellas destacan las normas que se han diseñado para promover el uso eficiente de la energía y por ende reducir las emisiones de los GEI.

Se afirma que en ausencia de una política global para detener el aumento de las emisiones de los GEI, el mundo podría enfrentar un calentamiento global de hasta 6℃. Los impactos del incremento de la temperatura media del planeta pueden ser catastróficos, no sólo en el medio ambiente y la economía global, sino en el mantenimiento de las funciones sistémicas de la atmósfera como reguladora del clima del planeta. Así pues, la estabilización de concentraciones de los GEI en la atmósfera es necesaria pero requiere de un esfuerzo internacional articulado y sin precedentes.

A nivel internacional, científicos coinciden que el nivel máximo de concentraciones de GEI en la atmósfera no debiera sobrepasar las 450 ppm[2]. Alcanzar este nivel de estabilización de concentraciones atmosféricas requiere una reducción drástica de 34% en el nivel agregado de emisiones esperadas al año 2030. Por tanto, las emisiones globales deben de alcanzar un pico máximo de 30.9 Gt en el 2020 y llegar a 26.4 Gt en 2030. De acuerdo con las proyecciones energéticas mundiales, esto será posible con acciones de política pública firmes y coordinadas que permitan, por un lado la transición energética hacia tecnologías de baja emisión de carbono, y por otro la transformación de los patrones de consumo hacia esquemas más sustentables.

Al respecto, la Agencia Internacional de Energía (AIE) considera que para reducir 3.8 Gt de CO_2 y alcanzar el escenario de estabilización de 450 ppm, se pueden disminuir 2.1 Gt a través de medidas regulatorias establecidas en los programas nacionales, particularmente con acciones en los sectores industriales y de transporte. Asimismo, la AIE estima que la reducción del restante 1.7 Gt puede lograrse a través de mecanismos de mercado[3], tales como el comercio de emisiones, particularmente en los sectores de generación de electricidad e industrial en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (AIE, 2009).

[2] Uno de los puntos más álgidos de las negociaciones internacionales se refiere al nivel máximo de concentraciones que debe adoptarse como meta a alcanzar para las políticas de mitigación, dado el nivel de incertidumbre de la información científica actual. Este documento considera que el nivel no debe rebasar el intervalo de 450 a 550 ppm.

[3] En dichos mercados se estima que el precio del bono de una tonelada de CO_2 llegue a $50. Por su parte, se espera que dichos mecanismos de mercado implementen reglas para que se puedan realizar transacciones de reducción de emisiones en países que no son miembros de la OCDE, tales como las reglas del ETS que permite el comercio de CER del MDL, en los que el precio del bono de una tonelada de CO_2 podría llegar a $30.

Folio No. 0079

En la 15 Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP-15), llevada a cabo en diciembre de 2010 en Copenhague, Dinamarca, no se lograron acuerdos internacionales sobre las metas de mitigación. En cierta medida, como resultado de la falta de acuerdos hasta ahora los esfuerzos de los distintos países han sido desarticulados y las regulaciones para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, heterogéneas tanto en su alcance como en sus objetivos. Por un lado existen regulaciones sectoriales que se han enfocado en aumentar la eficiencia energética y realizar medidas del tipo *no-regret*, es decir, medidas que representan beneficios económicos y que además conllevan reducción de emisiones. Por otro lado, existen instrumentos como los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto[4], cuyo objetivo es servir como herramientas complementarias para reducir los costos del cumplimiento de las metas de reducción en los países Anexo I[5].

A la fecha, los mayores esfuerzos para la reducción de emisiones han provenido de enfoques regulatorios. Tradicionalmente, las regulaciones, cuyo objetivo es aumentar la eficiencia energética y reducir la emisión de contaminantes primarios, han tenido como co-beneficio la disminución de emisiones GEI. A la par, nuevas regulaciones han incentivado mercados de energías renovables y asignado gasto público para el subsidio de nuevas tecnologías en el sector energía. Los instrumentos económicos tienen el objetivo de establecer un "precio" al carbono, de tal forma que se considere en las decisiones de producción y consumo la externalidad que las emisiones generan. Principalmente se consideran instrumentos económicos los impuestos directos a las emisiones de CO_2 y a los mecanismos de comercio de emisiones.

En este documento se revisan las políticas públicas, programas, instrumentos y normatividad orientados a la mitigación del cambio climático y a la promoción de la eficiencia energética en el plano internacional. La construcción de una ruta para que México transite hacia una economía de bajo carbono puede facilitarse si se toman en cuenta conocimientos y experiencias adquiridas en otros países, en particular aquellos que tienen un nivel similar de desarrollo económico y de bienestar. Al respecto un análisis comparativo de las medidas y regulaciones internacionales permitirá identificar elementos que tengan pertinencia política y utilidad económica (como las mejores prácticas, los enfoques costo-eficientes) para el contexto mexicano y así evaluar la posición de nuestro país en las negociaciones internacionales sobre cambio climático, en particular, sus propios objetivos de mitigación.

El capítulo número Cinco del estudio "La Ruta de México hacia una economía sustentable y de baja intensidad de carbono", presentará un ejercicio comparativo en el nivel internacional con referencia a los instrumentos económicos. Ambos documentos servirán como insumos para el diseño de la ruta de México hacia una economía de bajo carbono.

II.1.1 Consideraciones generales de método

Este análisis comparativo incluyó los siguientes elementos de política pública: tipo de programa, medida o instrumento, objetivos, alcance, normas y tecnología necesaria para su implementación. Se tomaron en consideración los países que por su avance en el conocimiento en la materia, su potencial de mitigación, su influencia en las negociaciones COP o su similitud con México son los más relevantes para este estudio: Estados Unidos,

[4] El Mecanismo de Desarrollo Limpio, la Implementación Conjunta y el Comercio de Emisiones.
[5] Los países del Anexo I son aquellos que tienen metas de reducción de emisiones establecidas en el Protocolo de Kioto.

Folio No. 0080

Canadá, la Unión Europea, Japón, China, India y Brasil.

En la sección II.2 se presenta un panorama internacional del papel del sector energía en la mitigación del cambio climático con base en el "World Energy Outlook 2009" publicado por la Agencia Internacional de Energía (AIE). La AIE preparó un apartado especial en su publicación anual para el 2009 ante la necesidad de contar con información para las negociaciones internacionales. El primer apartado presenta las conclusiones más relevantes de dicho estudio con el fin de enmarcar la discusión sobre la normatividad que se requiere en cada sector y definir los subsectores y países de interés. El siguiente apartado complementa el panorama internacional proporcionando un resumen del estado actual en materia de cambio climático de la normatividad internacional ISO[6] y del avance en normas de eficiencia energética, considerando la información del Programa Colaborativo de Etiquetado y Estándares (CLASP)[7].

En la actualidad los países mencionados cuentan con diversos instrumentos de política pública para atender la problemática del cambio climático. Es por ello que el primer criterio que se consideró en la revisión de la normatividad de cada país fue el presentar un panorama general sobre el avance de su legislación marco para mitigar el cambio climático. Se describe el estado actual de su legislación y programas cuyo objetivo central es la mitigación de GEI y también una breve explicación de los aspectos políticos o sociales que han influido en el estado actual de dicha legislación. En segundo lugar, se presentan las leyes o programas que si bien su objetivo principal no es la mitigación de GEI, representan un componente fundamental para la reducción de emisiones, tales como los programas de ahorro de energía.

Se utilizaron las bases de datos que integra la AIE, a saber: a) "Addressing Climate Change: Policy and Measures", b) "Global Renewable Energy: Policy and Measures" y c) "Energy Efficiency: Policy and Measures". Una vez identificados los instrumentos, se revisó la información oficial publicada por los países y en casos especiales se elaboró un seguimiento de instrumentos relevantes en medios electrónicos y hemerográficos (particularmente las iniciativas de Ley en Estados Unidos de América). Con estos criterios se revisó el estado de la regulación y normatividad en EUA, Canadá, Europa, Japón, China, India y Brasil. Al final en el capítulo Diez se presenta una tabla resumen que incluye los instrumentos en los diferentes países, los sectores que regulan y la fecha de su publicación.

Es importante mencionar que este documento no analiza la implementación de las medidas de política pública ni la aplicación de las normatividades descritas. La comparación entre países tiene como finalidad identificar similitudes y diferencias que se enuncian en los documentos consultados para así conocer las prescripciones de las acciones de mitigación del cambio climático y de eficiencia energética. En cierta medida, esta comparación se puede interpretar como una señal de avance y de las rutas que los países están trazando para contribuir a la reducción del cambio global. Asimismo, refleja las particularidades de cada país que son producto tanto de su propio contexto de desarrollo como de las influencias de otros contextos en el plano internacional.

[6] La Organización ISO (International Organization for Standarization) es línder a nivel internacional en la elaboración de estándares o normas para productos y servicios tanto en materia de calidad como en temas de seguridad y recientemente de desempeño ambiental. Para mayro detalle ver: http://www.iso.org/iso/home.html

[7] CLASP (Collaborative Labeling and Standards Program) es una organización que inició el Lawrence Berkeley National Laboratory en los EStados unidos y que actualmente es una organización global sin fines de lucro que recopila y monitorea la información sobre estándares y etiquetados de eficiencia energética. Para mayor detalle ver: http://www.clasponline.org/index.php

II.2 Panorama internacional

Con el fin de revisar el panorama internacional de instrumentos normativos, se consideraron los países mencionados arriba y de cuya acción depende en mayor medida la estabilización de concentraciones de GEI en la atmósfera. Para ello se utilizó el análisis hecho por la AIE en los trabajos preparativos de la COP15 (AIE, 2009). Dicho análisis identifica tres grandes grupos de países: los países de la OCDE, otras economías mayores y el resto del mundo. En el grupo OCDE además de los países dentro de dicha organización, se encuentran los países miembros de la Unión Europea (EU) que no son miembros de la OCDE. Cabe señalar que México como miembro de dicha organización se está considerando dentro de este grupo de países. En el grupo de otras economías mayores se encuentran Brasil, China, el Medio Oriente[8], Rusia, y Sudáfrica.

La AIE (2009) consideró por un lado el grupo de países industrializados y por el otro las expectativas de crecimiento a nivel internacional, incluyendo en el grupo de mayores economías a aquellos cuyo ingreso *per cápita* se espera que sea superior a los $13,000 dólares en el año 2020. Asimismo, con el fin de brindar un margen de tiempo suficiente para países que enfrentan condiciones diferentes de desarrollo, la AIE definió dos periodos en los que se esperaría que los países establezcan medidas de mitigación. Se analizan pues dos periodos: el 2013-2020 y el 2021-2030. Se estima que en el periodo 2013-2020 los países OCDE establecerán medidas para reducir sus emisiones en los sectores industriales y de generación de electricidad. En el periodo 2021-2030 Brasil, China, el Medio Oriente, Rusia, y Sudáfrica adoptarán medidas para los mismos sectores.

Existen diversas propuestas a nivel internacional que establecen metas de mitigación bajo distintos criterios. En este estudio se considera la propuesta de la AIE (2009) debido a que el enfoque se basa en el uso y la generación de energía como eje organizador de los esfuerzos de mitigación. Asimismo, se considera que la propuesta es integral debido a que tiene como fin último alcanzar un escenario de estabilización de 450 ppm y considera el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas. La propuesta de la AIE también sirve para evaluar las iniciativas de normatividad en los países que más han avanzado en el tema.

Así, la propuesta de la AIE (2009) incluye tres mecanismos fundamentales:

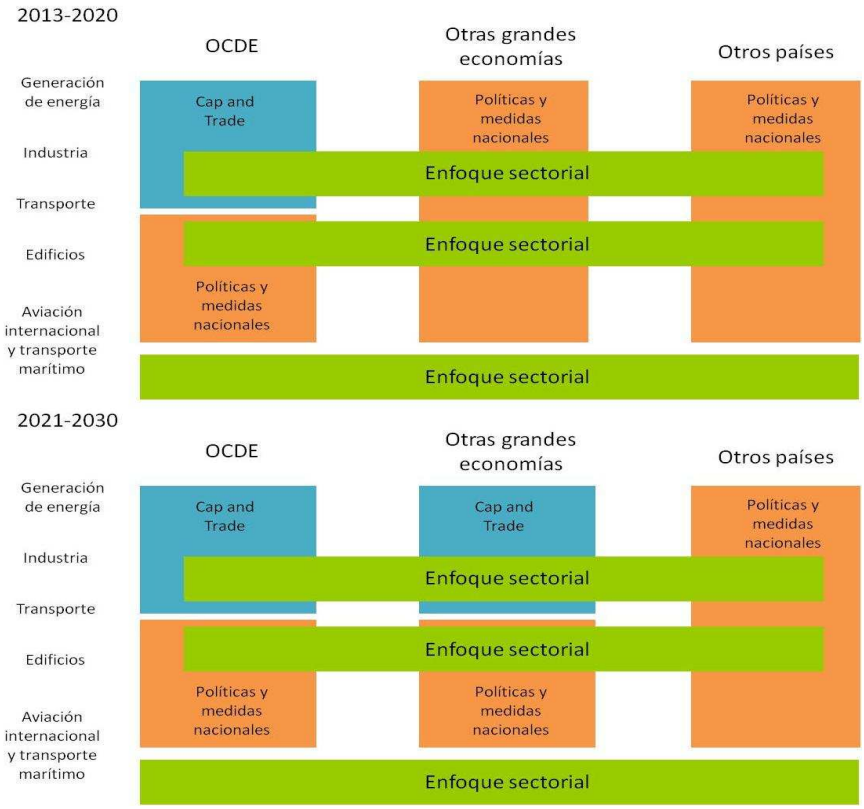
- Políticas nacionales de mitigación
- Políticas sectoriales a nivel internacional
- Mecanismos de comercio de emisiones del tipo *cap and trade* (límite y comercio), los cuales conllevan metas de reducción absolutas por sector.

La AIE considera que todos los países diseñarían e implementarían políticas y medidas de carácter nacional que consideren sus circunstancias particulares (los denominados NAMAs[9] *por sus siglas en inglés*). Además, se establecerían iniciativas internacionales de carácter sectorial. Dichas iniciativas tendrían como objetivo la reducción de emisiones en sectores indispensables para alcanzar los objetivos de mitigación, y que por sus características, requerirían de medidas similares en todos los países, particularmente para atender el tema de pérdida de competitividad. Los sectores identificados son la industria del cemento, acero, vehículos de transporte, aviación y transporte de mercancías.

[8] Se consideran en la región Medio Oriente: Bahréin, Irán, Iraq, Israel, Jordán, Kuwait, Líbano, Omán, Qatar, Arabia Saudita, Siria, Emiratos Árabes Unidos y Yemen
[9] NAMA: Nationally Appropriate Mitigation Actions

Adicionalmente a las regulaciones sectoriales mencionadas previamente, los países de la OCDE para el periodo 2013-2020 deberían establecer un techo máximo de emisiones para los sectores de generación de electricidad e industrial, en el contexto de un sistema de comercio de emisiones del tipo *cap and trade*. En el segundo periodo de mitigación de 2021-2030 los países del grupo de otras economías mayores deberían unirse a los mecanismos de *cap and trade* con techos máximos para éstos sectores. (Véase Figura II.1)

Figura II.1 Propuesta de la AIE. El papel del sector energía en la mitigación del cambio climático. Instrumentos y distribución internacional de las metas de mitigación

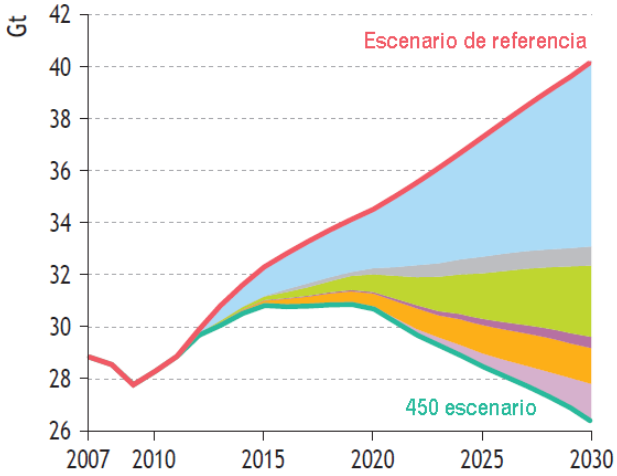


Fuente: (AIE, 2009: 11)

Bajo esta propuesta, las emisiones del grupo OCDE disminuirían de 13.1 a 7.7 Gt en 2030. Las emisiones en el grupo de países de otras economías mayores llegan a un máximo de 12.6 Gt en 2020 y disminuyen a partir de ese año para alcanzar 11.1 Gt en 2030 (14% superior a su línea base de 2007). Las emisiones del resto del mundo aumentarían. La mayoría de las emisiones se producirían a través de tecnologías que aumentan la eficiencia energética y cambios en las mezclas de generación de energía eléctrica.

Folio No. 0083

Figura II.2 Mitigación de emisiones en el sector de energía global



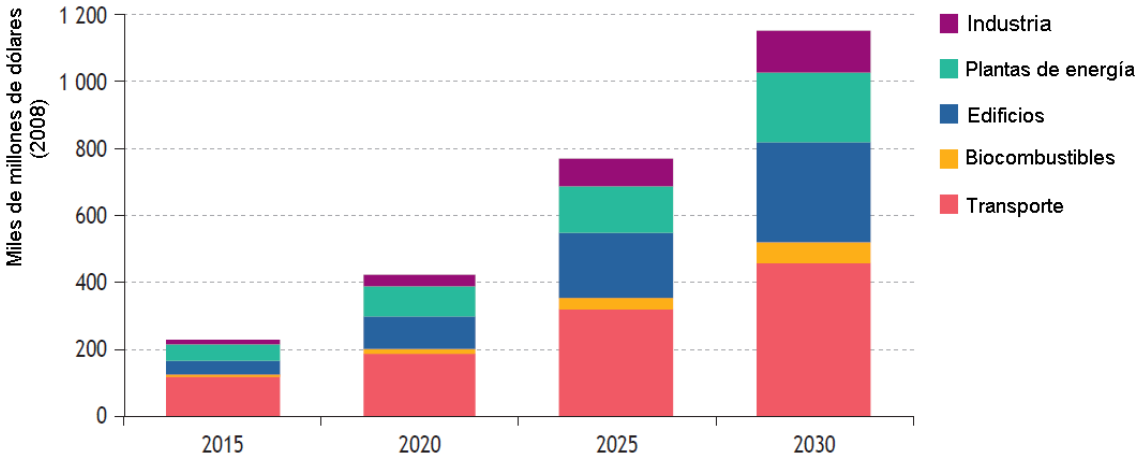
	Abatimiento ($Mt\ CO_2$)		Inversión (Dólares 2008, miles de millones)	
	2020	2030	2010-2020	2021-2030
Eficiencia	2 517	7 880	1 999	5 586
Uso final	2 284	7 145	1 933	5 551
Plantas de energía	233	735	66	35
Renovables	680	2 741	527	2 260
Biocombustibles	57	429	27	378
Nuclear	493	1 380	125	491
CCS	102	1 410	56	646

Fuente: (AIE, 2009: 17)

El tema del financiamiento de las medidas es sin lugar a dudas de primordial importancia para poder lograr acuerdos a nivel internacional. Se estima que la propuesta de la AIE conllevaría requerimientos de inversión del orden de 10.5 trillones de dólares. El sector que requerirá de mayor inversión es el sector transporte, con 4.7 trillones fundamentalmente asociados a la adquisición de vehículos más eficientes. Se espera que en el sector residencial (eficiencia energética en edificaciones, incluyendo el cambio de aparatos y equipos) sea del orden de $2.5 trillones. Por su parte, el sector de generación de electricidad requerirá $1.7 trillones. El sector industrial representaría $1.1 trillones para mejorar la eficiencia de procesos y equipos eléctricos. Para la producción de biocombustibles se estima un requerimiento de inversión de $0.4 trillones. Se precisa que en el largo plazo, la inversión adicional en eficiencia energética en edificaciones, industria y transporte se recupera en gran medida por los ahorros de energía implícitos. La inversión total requerida representaría aproximadamente un 0.5% del producto bruto mundial en 2020 y llegaría a 1.1% en 2030. Bajo la propuesta de la AIE alrededor de 48% de la inversión se llevaría a cabo en países de la OCDE, en el grupo de otras economías mayores se invertiría 30% y en el resto del mundo 18%. El resto se requeriría en la industria de la aviación internacional (ver Figura II.3).

Folio No. 0084

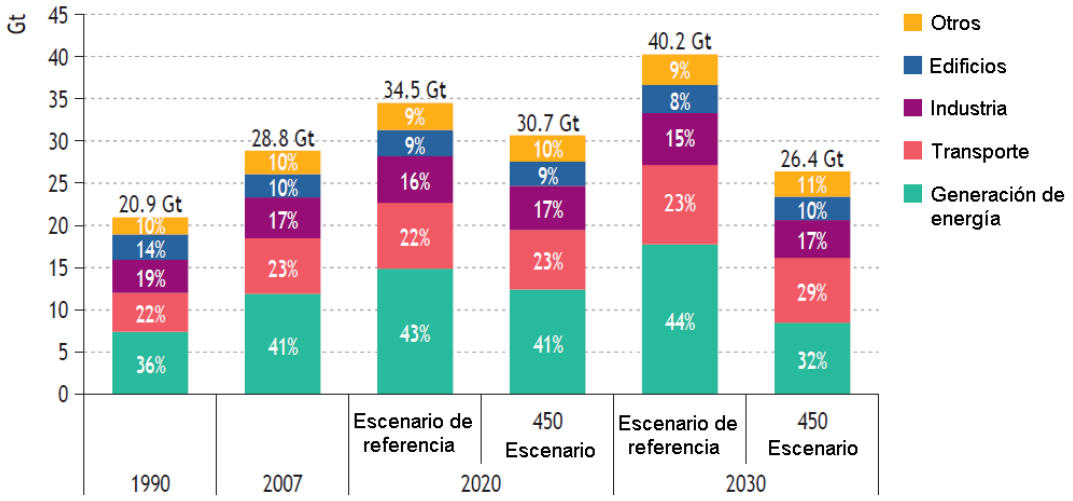
Figura II.3 Inversión mundial para la mitigación del cambio climático



Fuente: (AIE, 2009: 17)

Así para lograr un escenario de estabilización de 450 ppm se requeriría de un mundo con un aumento de 6% promedio en la eficiencia energética. En el sector de generación de electricidad, la intensidad de CO_2 debe disminuir 21% y en el sector transporte 37%. La edificación sustentable debe permitir sólo un aumento del 3% de las emisiones. Por su parte, el sector industrial podrá incrementar sus emisiones como máximo un 9%. Todo ello considerando como año base 2007, es decir en las próximas dos décadas se pretende una transformación radical de la economía hacia una ruta de baja emisión de carbono y esta propuesta permite identificar los sectores clave para lograrlo (ver Figura II.4).

Figura II.4 Propuesta de la AIE. Distribución sectorial de la mitigación de emisiones de GEI



Fuente: (AIE, 2009: 17)

Las emisiones *per cápita* bajo este escenario disminuirían de 4.0 a 3.2 toneladas, la demanda de energía *per cápita* se mantendría en 1.7 toe. Los indicadores clave que deben alcanzarse por sector se presentan en la Tabla II.1.

Tabla II.1 Indicadores críticos para alcanzar un escenario de estabilización atmosférica de 450 ppm

	1990	2007	2020		2030	
			Escenario de referencia	Escenario 450	Escenario de referencia	Escenario 450
Emisiones de CO_2 per cápita (t)	4.0	4.4	4.5	4.0	4.9	3.2
Demanda de energía per cápita (toe)	1.7	1.8	1.9	1.8	2.0	1.7
Índice de intensidad de CO_2 (mundial 2007=100)	126	100	79	70	68	45
CO_2 acumulado desde 1980 (Gt)	778	1201	1608	1589	1934	1871
	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Intensidad de CO_2 de la energía (g/kWh)	632	603	549	479	520	283
Intensidad de CO_2 de la flota vehicular (2007=100)	n.d.	100	78	63	75	47

Fuente: (AIE, 2009), p. 17

A fin de alcanzar estos niveles, el escenario tecnológico propuesto conllevaría transformaciones importantes en el sector eléctrico y en el sector transporte. La Figura II.5 muestra las proyecciones para el sector de generación de electricidad.

Folio No. 0086

Figura II.5 Propuesta AIE. Mezcla de tecnologías para la generación de electricidad a nivel internacional en el escenario de 450 ppm.

Fuente: (AIE, 2009:17)

El incremento esperado en la demanda de energía eléctrica a nivel mundial durante el periodo 2007-2030 se estima en 76%; ello implica un aumento en la capacidad instalada de 4,800 GW. La inversión en el sector para el periodo se estima en $26 trillones de dólares al año[10], es decir 1.1 trillones por año, lo que equivaldría a aproximadamente 1.4% del ingreso mundial. En ausencia de políticas específicas, se espera una participación del carbón de 44% en la mezcla de generación de electricidad. El incremento de los precios en los combustibles fósiles como resultado de posibles políticas en materia de seguridad energética y cambio climático, podría incrementar la oferta de renovables a 22% de la mezcla de tecnologías.

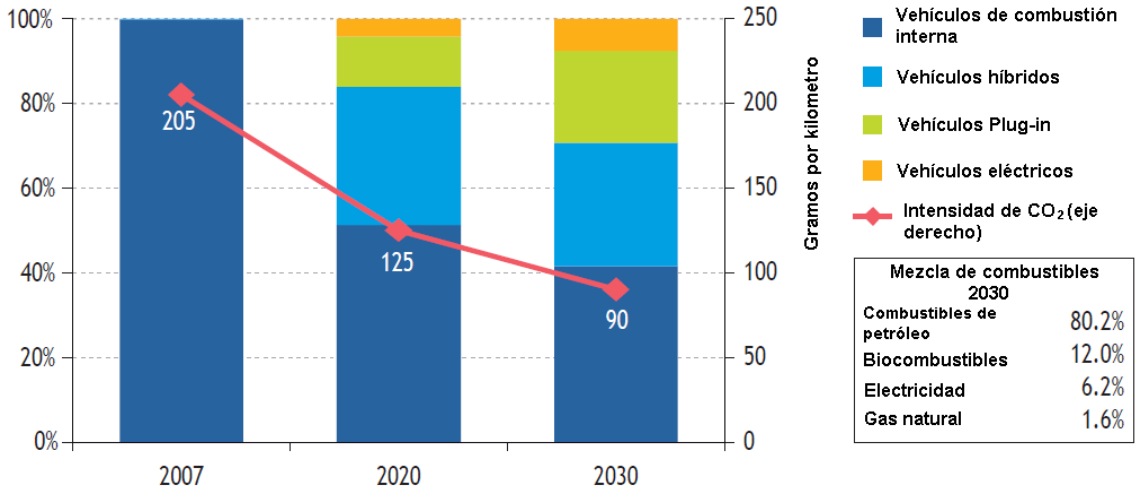
Como se observa en la Figura II.5, bajo un escenario de estabilización, en la próxima década, se espera un crecimiento importante de la generación a base de carbón, con y sin captura y almacenamiento geológico de carbono (CCS) y en menor medida de la tecnología de carbón y gas con CCS. En orden de importancia le siguen las hidroeléctricas que duplicarían su capacidad instalada en el 2030. La energía eólica tendría el crecimiento más dinámico alcanzando una capacidad mayor a 1000 GW en el 2030. La energía nuclear también reportaría un crecimiento importante.

Por lo que se refiere al sector transporte, en el año 2007 la intensidad de CO_2 del transporte medida en gramos por km se estimó en 205 y se espera disminuya drásticamente a 125 y 90 conforme el parque vehicular se transforma drásticamente al pasar de un mercado exclusivo casi en su totalidad de vehículos convencionales a un parque donde dicha tecnología representa sólo el 40% seguida de los vehículos híbridos, los vehículos plug-in y los vehículos eléctricos (Véase la Figura II.6).

[10] Dólares de 2008

Folio No. 0087

Figura II.6 Participación mundial de las ventas de vehículos de pasajeros por tecnología e intensidad de CO_2



Fuente: (AIE, 2009:18)

II.2.1 Normatividad internacional para el cambio climático elaborada por ISO

A nivel internacional existen organizaciones que determinan normas para procesos y servicios que permiten la comparación y certificaciones de los mismos entre los distintos países. Una de las organizaciones más reconocidas a nivel internacional es la organización ISO, Organización Internacional para la Estandarización (*International Organization for Standardization)*. México es un país miembro de esta organización y de acuerdo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización puede adoptar dichos estándares por su categoría de estándares internacionales.

Como se describió en la introducción, los países se han dado cuenta de la necesidad de llevar a cabo acciones coordinadas internacionalmente en algunos sectores, lo que requiere de ciertos estándares para poder normalizar los esfuerzos de los países y atender entre otros temas las preocupaciones expresadas en los foros internacionales sobre pérdida de competitividad. Ello ha llevado a una gran demanda de normas ISO para poder avanzar en la mitigación del cambio climático. La ISO divide en cuatro niveles los instrumentos normativos que está actualmente diseñando o que están disponibles para atender la problemática del cambio climático (ISO, 2010):

- Monitoreo del cambio climático
- Cuantificación de GEI y comunicación de impactos ambientales
- Buenas prácticas de gestión y diseño ambiental
- Apertura de mercados mundiales para las tecnologías de eficiencia energética

Folio No. 0088

Monitoreo del cambio climático

Los comités técnicos ISO/TC 211 desarrollan normas para los sistemas de información geográfica y los sistemas geomáticos. Es reconocida a nivel internacional la necesidad de mejorar los sistemas de información que permitan monitorear el estado que guardan los sistemas terrestres con el fin de mejorar las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático. La adopción de los países de estándares comunes para el levantamiento de esta información es crítica para contar con bases de datos comparables y compatibles a nivel mundial. Un ejemplo de este tipo de normas son las normas utilizadas para el levantamiento de los inventarios de usos de suelo, las normas para el monitoreo de variables meteorológicas y las normativas para medir el flujo de carbono terrestre. Instituciones como la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO *por sus siglas en inglés*) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO *por sus siglas en inglés*) colaboran con ISO para el desarrollo de estándares para el mapeo satelital y levantamiento de datos y para el levantamiento de datos climáticos y meteorológicos. El IPCC a través de su órgano subsidiario para asesoramiento científico y técnico (Subsidiary Body for Science and Technological Advice, SBSTA *por sus siglas en inglés*) ha establecido lineamientos para la medición de los flujos de carbono terrestre mismos que son considerados por estas instancias de normalización (Sessa, 2008).

Cuantificación de GEI y comunicación de impactos ambientales

Con referencia a la cuantificación y verificación de GEI, existen los estándares ISO 14064 e ISO 14065 que permiten la comparación de los datos de emisiones a nivel internacional, particularmente en programas de reducción y de comercio de emisiones. Ambas normas son consistentes con el Protocolo GEI publicado por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI *por sus siglas en inglés*) y por el Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sustentable (WBCSD *por sus siglas en inglés*).

El estándar de carbón voluntario conocido como VCS (*por sus siglas en inglés*), desarrollado por las organizaciones el Grupo del Clima (TCG *por sus siglas en inglés*), la Asociación Internacional de Comercio de Emisiones (IETA *por sus siglas en inglés*) y el Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sustentable (WBCSD) se apega a los principios del ISO 14064 y usa la validación y verificación propuesta por ISO 14065. Evidentemente, la normatividad sobre cuantificación y verificación en el comercio de emisiones es clave para la viabilidad de los de estos instrumentos de mercado, pues al asignar un valor monetario a las emisiones es necesario que existan prácticas reconocidas para la medición, por lo que estas normas tienen una importancia muy relevante en el tema de cambio climático a nivel internacional. Respecto al tema de comunicación de impactos ambientales se cuenta con las siguientes normas ISO en el plano internacional:

- ISO 14020:2000, Etiquetados y declaraciones ambientales.- Principios generales
- ISO 14063:2006, Gestión Ambiental.- Comunicación ambiental.- Guías y ejemplos
- ISO 21930:2007, Sustentabilidad en el sector de la construcción.- Declaración ambiental de productos para la edificación.

Folio No. 0089

Buenas prácticas de gestión y diseño ambiental

El comité ISO/TC 207 es la referencia internacional en esta materia con la publicación de los conocidos ISO 14000. En particular, se mencionan los siguientes:

- ISO 14001:2004, Sistemas de gestión ambiental. Este estándar ha sido adoptado tanto por el sector privado como público en organizaciones de más de 140 países. Dentro de esta categoría se incluyen estándares para el diseño de productos y servicios considerando los impactos ambientales.
- ISO 14004:2004, Sistemas de gestión ambiental – Guías, principios generales sistemas y técnicas de soporte.
- ISO 14040:2006, Gestión ambiental – Evaluación del ciclo de vida – Principios y marco.
- ISO Guía 64:2008, Guía para incorporación de variables ambientales en estándares de producto.

Apertura de mercados mundiales para las tecnologías de eficiencia energética

Los estándares internacionales ISO incluyen temas centrales para el cambio climático en las áreas de energía nuclear, solar, tecnologías de hidrógeno, sistemas de transporte inteligente, edificación sustentable, entre otros. La disponibilidad de estos estándares a nivel internacional es muy valiosa para los gobiernos de los distintos países ya que provee un referente sobre las prácticas disponibles y consideradas viables por la ISO. Cabe señalar que el proceso de elaboración de las normas ISO es ampliamente participativo por lo que los estándares reflejan el acuerdo de expertos, industrias y gobiernos. Actualmente la ISO trabaja en temas tales como los biocombustibles, gestión de sistemas energéticos y en examinar áreas de oportunidad para la eficiencia energética y los recursos renovables. Otra organización internacional muy importante en este tema es la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC, *por sus siglas en inglés*) con la que ISO trabaja de forma coordinada. Otras iniciativas relevantes en el tema son la colaboración con la Agencia Internacional de Energía de la OCDE (AIE, *por sus siglas en inglés*) y el Consejo Mundial de Energía (WEC, *por sus siglas en inglés*).

Folio No. 0090

II.2.2 Normatividad a nivel internacional en eficiencia energética

Para lograr el escenario de estabilización, se requiere de la adopción en el plano internacional de normas para agilizar la adopción de tecnologías limpias que catalicen la generación de energía limpia y su uso eficiente. Con relación en los usos finales, los países han avanzado en establecer regulaciones para reducir el consumo de energía de aparatos así como normas de etiquetados que permiten contar con mayor información sobre las características técnicas de los aparatos y promueven compras más informadas.

Como se muestra en la Tabla III.20 ubicada en los anexos, la normatividad en materia de eficiencia energética ha cobrado importancia desde la década de los 70's como resultado de la crisis petrolera que incrementó los precios de la energía. Los países líderes en establecer estándares fueron Francia, Estados Unidos, Alemania, Canadá y Japón. Posteriormente en la década de los 80s numerosos países, incluyendo algunos países en desarrollo, impulsaron procesos regulatorios y de etiquetados de equipos para informar al consumidor sobre el consumo de energía de los distintos aparatos. Entre ellos destacan Rusia, Brasil, India y China que impulsaron medidas a principios de los 90s y México inició sus primeras regulaciones en 1995. A la fecha México cuenta con dieciocho Normas Oficiales Mexicanas en materia de eficiencia energética (Ver Tabla II.2). Estas normas regulan la eficiencia eléctrica, la eficiencia térmica o la eficiencia de aislamiento de una serie de aparatos y materiales tanto de uso doméstico como industrial.

Tabla II.2 Normas Oficiales Mexicanas en Eficiencia Energética Vigentes

Norma	Descripción
NOM-001-ENER-2000	Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.
NOM-003-ENER-2000	Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado.
NOM-004-ENER-2008	Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0,187 kW a 0,746 kW. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-005-ENER-2010	Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.
NOM-006-ENER-1995	Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.- Límites y método de prueba.
NOM-007-ENER-2004	Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
NOM-008-ENER-2001	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.
NOM-009-ENER-1995	Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.
NOM-010-ENER-2004	Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo

Folio No. 0091

Norma	Descripción
	profundo. Límites y método de prueba.
NOM-011-ENER-2006	Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-013-ENER-2004	Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas.
NOM-014-ENER-2004	Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 a 1,500 kW. Límites, método de prueba y marcado.
NOM-015-ENER-2002	Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-016-ENER-2002	Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.
NOM-017-ENER/SCFI-2008	Eficiencia energética de lámparas fluorescentes compactas. Límites y métodos de prueba.
NOM-018-ENER-1997	Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.
NOM-019-ENER-2009	Eficiencia térmica y eléctrica de máquinas tortilladoras mecanizadas. Límites, método de prueba y marcado.
NOM-021-ENER/SCFI-2008	Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-022-ENER/SCFI-2008	Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

Fuente: (CONUEE, 2010)

Como se muestra en la Tabla III.20 de los anexos, las normas para aumentar la eficiencia energética son una de principales políticas adoptadas por los países. Si bien México ha avanzado en los procesos de normalización existen aun diversas áreas de oportunidad en los que otros países cuentan con normas de eficiencia energética y el país aun no tiene normativa. Adicionalmente conforme avanza la tecnología, las normas deben revisarse y actualizarse para permitir la introducción y fabricación en el país de aparatos con los más altos estándares de eficiencia energética.

Las normas son un elemento de una política más amplia en materia de energía y/o ambiental. Su elaboración e impulso responde a una política específica para impulsar el desarrollo tecnológico sustentable en áreas estratégicas. Por un lado, requieren de un esquema gubernamental que fortalezca el marco regulatorio y de verificación y por el otro, del desarrollo en el sector privado de tecnologías y su difusión a nivel comercial.

Folio No. 0092

En el mundo conviven diferentes modelos normativos. Por lo que hace a la regulación en materia de cambio climático es evidente que algunos países con sistemas de planeación estructurados y que han sido líderes en la materia cuentan con esquemas regulatorios más refinados. Tal es el caso de la Unión Europea y Japón. Otros países como Estados Unidos y Canadá han privilegiado en el desarrollo de su normatividad temas de prioridad nacional por lo que el desarrollo de su normativa en materia de cambio climático está menos avanzado. Finalmente los países en desarrollo de mayor tamaño India, China y Brasil, cuentan con un esquema inicial ante la gran importancia que ha cobrado el tema a nivel internacional. La Tabla II.3 sintetiza la normatividad existente en dichos países en materia de cambio climático y eficiencia energética.

Folio No. 0093

Tabla II.3 Resumen de la normatividad en materia de cambio climático y eficiencia energética

	Estados Unidos	Canadá	Unión Europea	Japón	China	India	Brasil
Ratificación del Protocolo de Kioto	No ratificó el Protocolo de Kioto	Ratificó en Diciembre de 2002	Ratificó en Mayo de 2002	Ratificó en Junio de 2002	Ratificó en Agosto de 2002	Ratificó en Agosto de 2002	Ratificó en Agosto de 2002
Ley Marco de Cambio Climático	Iniciativas de Ley en el Congreso de los Estados Unidos	Ley de Implementación del Protocolo de Kioto (Kyoto Protocol Implementation Act)	Paquete para energía y cambio climático	Ley de Promoción de Medidas en contra del Cambio Climático (Act on Promotion of Global Warming Countermeasures)	No hay legislación en materia de cambio climático	No hay legislación en materia de cambio climático	Ley 12.187 Política Nacional de Cambio Climático
Programa Nacional de Cambio Climático		Programa de Acción para la Reducción de los Gases de Efecto Invernadero y la Contaminación del Aire (Turning the Corner: An Action Plan to Reduce Greenhouse Gases and Air Pollution)	Programas nacionales de implementación elaborados en base a las directivas de la UE y en medidas nacionalmente apropiadas	Plan para lograr la meta del Protocolo de Kioto 2004, (Kyoto Protocol Target Achievement Plan 2004)	Programa Nacional de Cambio Climático de China (CNCCP)	Plan de Acción Nacional sobre el Cambio Climático (National Action Plan on Climate Change)	Plan Nacional de Cambio Climático

Folio No. 0094

	Estados Unidos	Canadá	Unión Europea	Japón	China	India	Brasil
Marco legal para el ahorro de energía	Ley de Política Energética 2005 (Energy Policy Act 2005) Ley de Independencia y Seguridad Energética 2007 (Energy Indepence and Security Act 2007) Ley de Recuperación y Reinversión Americana 2009 (The American Recovery and Reinvestment Act 2009)	Ley de Eficiencia Energética publicada en 1992 y modificada en 1995, 1997, 1998 y 2008) (Energy Efficiency Act)	Directiva Europea sobre eficiencia en los usos finales de la energía y los servicios energéticos (2006/32/EC) Directiva Europea para el eco-Diseño y requerimientos de uso de energía de productos (2005/32/EC) Directiva para la promoción de la cogeneración (2004/8/EC) Directiva para el desempeño energético de Edificaciones (2002/91/EC) Directiva para la promoción de la generación de electricidad por energías renovables	Ley sobre el uso racional de la Energía (Establecida en 1979 y modificada en 1983, 1993, 1998, 2002, 2005 y 2008)	Ley de la Conservación de la Energía (Energy Conservation Law	Ley de Conservación de la Energía (Energy Conservation Act)	Ley 9.991. Regula las inversiones en investigación y desarrollo de eficiencia energética para empresas concesionarias y autorizadas del sector de energía eléctrica y otras medidas.

Folio No. 0095

	Estados Unidos	Canadá	Unión Europea	Japón	China	India	Brasil
Medidas principales para el ahorro de energía y la reducción de emisiones	Expansión del Programa Energy Star Acuerdos Voluntarios con distintos sectores industriales	Ampliación de los programas de eficiencia energética de la Ley de Eficiencia Energética Elaboración de la guía "EnerGuide" para el etiquetado Asistencia técnica industrial	- Esquema de comercio de emisiones (ETS) - Reducción de emisiones en sectores fuera del ETS - Estándares para vehículos de pasajeros - Marco general para la captura y almacenamiento de carbono -Estándares de calidad para los combustibles -Promoción de la energía renovable Promoción de la energía renovable y programa de eficiencia de energía nuclear	Asistencia técnica al sector industrial y reforzamiento de la verificación del cumplimiento de la Ley de Eficiencia Energética Expansión del programa top-runner	Proyecto de Iluminación Verde	Programa de estándares y etiquetas (Standards & Labeling Scheme) Código de conservación de energía en edificaciones y programa de eficiencia energética en edificaciones	Programa Nacional de racionalización del uso de los derivados del petróleo y del gas natural (CONPET)

Folio No. 0096

	Estados Unidos	Canadá	Unión Europea	Japón	China	India	Brasil
Incentivos económicos para el ahorro de energía	Apoyos e incentivos establecidos en la Ley de Reestructuración del Sector Eléctrico (Comprehensive Electricity Reestructuring Act) y/o en la Ley de Energía 2005 (Energy Policy Act 2005)	Trato preferencial a la energía renovable en la Ley del impuesto sobre la renta desde 1998 e impuesto federal para la promoción de los biocombustibles	Promoción de todos los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto	Reforma del sistema fiscal que incluye la Ley para el apoyo al ahorro de energía y la asistencia 3r con diversos subsidios	Se encuentra en discusión un fondo para la promoción de las energías renovables y un esquema de incentivos fiscales		Ley 9.991. Regula las inversiones en investigación y desarrollo de eficiencia energética para empresas concesionarias y autorizadas del sector de energía eléctrica y otras medidas Programa de Incentivos a Fuentes Alternativas de Electricidad - PROINFA

Folio No. 0097

A continuación, se describen los principales desarrollos normativos y los marcos regulatorios generales que han permitido avanzar en la normalización y introducción de tecnologías que permiten la mitigación del cambio climático en los países y regiones seleccionados: Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea, Japón, China, India y Brasil.

.

Folio No. 0098

II.3 Estados Unidos

En 2007, los Estados Unidos de América (EUA) emitieron en su territorio el 20% del total mundial de GEI con solamente el 5% de la población mundial[11]. Las políticas para regular la reducción de emisiones en este país son sumamente complejas debido a que el crecimiento económico de los Estados Unidos ha sido a expensas de un alto consumo de energía a precios bajos. Por ende, la legislación en materia de cambio climático ha sido una tarea difícil para las últimas administraciones federales, tanto por los costos económicos implícitos, los intereses de ciertos sectores, así como por la dificultad de modificar patrones de consumo de amplios grupos de la sociedad.

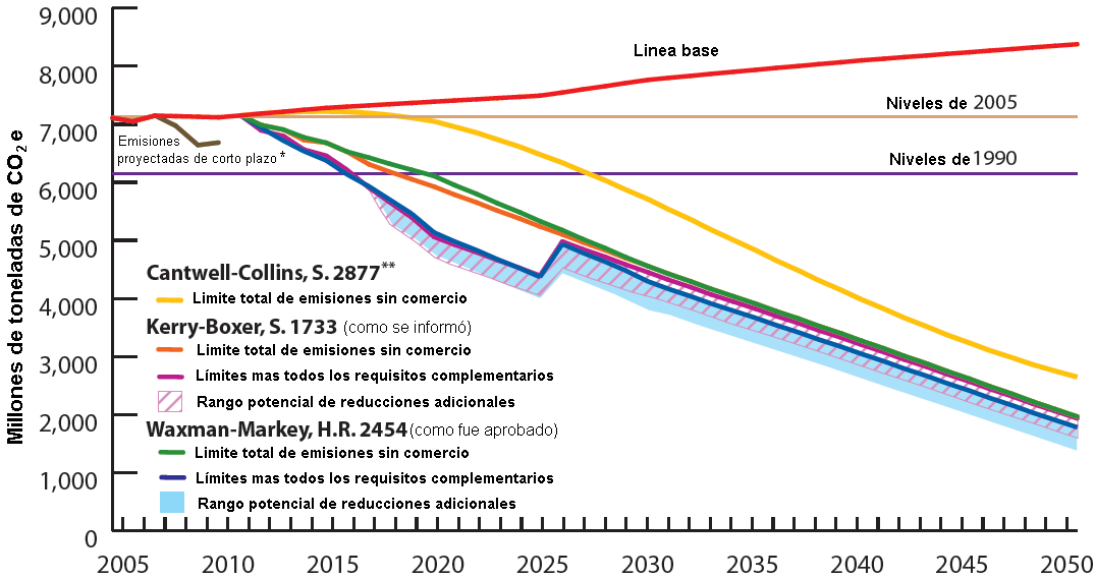
Actualmente las acciones a nivel federal se han llevado a cabo a través de diversos programas relacionados con legislaciones en materia de energía y a través de iniciativas estatales y municipales. Sin embargo, es ampliamente reconocida la necesidad de contar con una legislación marco que tenga un enfoque integral y que permita a los EUA llevar a cabo acciones coordinadas a nivel doméstico. La legislación en materia de cambio climático en EUA es, asimismo, uno de los temas más relevantes para impulsar y lograr acuerdos internacionales.

Alrededor de 25 propuestas legislativas han sido presentadas al Congreso, particularmente al Senado y desde el 2007 se ha incrementado la discusión del tema y el número de propuestas en el Congreso (MIT, 2007). Sin embargo, la legislación específica sobre cambio climático en los Estados Unidos no ha sido aprobada por su Congreso. No se tiene certeza si los EUA contarán para 2010 con una ley sobre cambio climático y energía. Tampoco se conoce el repertorio de instrumentos que propondrá y sus posibles impactos internacionales (Samuelsohn, 2009).

Las propuestas presentadas al Congreso de los EUA han sido heterogéneas en su alcance y en las metas, con medidas que permitirían reducir las emisiones en un rango de entre 60 y 80% con respecto a los niveles de 2005 (no de 1990) hacia el 2050. Algunos elementos similares incluyen las propuestas de incluir instrumentos económicos del tipo *cap & trade* y brindar apoyos a los sectores afectados tanto a través de la asignación gratuita de permisos de emisión (proceso conocido como *grandfathering*) así como a través de subvenciones directas (Jobber, 2008). Las propuestas son heterogéneas también en las medidas que proponen con respecto al comercio de emisiones a nivel internacional, y a la participación de los denominados *offsets* o créditos de reducción que pueden provenir del extranjero para cumplir con las obligaciones de reducción dentro de los Estados Unidos (Kopp, 2007).

[11] Un porcentaje importante de los bienes que son producidos en otros países, y que por tanto generan emisiones en otros territorios, se exportan hacia los Estados Unidos. Por convención, se consideran las emisiones en el territorio a fin de evitar mayor complejidad en el cálculo de los inventarios. Un cálculo de emisiones netas del consumo final sería interesante para analizar la sustentabilidad de las economías a nivel internacional.

Figura II.7 Reducción de emisiones netas bajo distintas propuestas de ley de cambio climático en el Congreso de EUA, 2005-2050



*Emisiones estimadas de la AIE para el periodo 2008 a 2010.

**Reducción inicial para 2020 del 20% respecto a niveles de 2005. Es necesario acciones del Congreso para lograr la meta.

Fuente: (Larsen, 2009)

Las propuestas actualmente bajo consideración del Senado de los EUA (y algunas leyes que han sido aprobadas en materia de energía), incluyen de forma significativa un incremento en el gasto público como subsidios directos al desarrollo tecnológico en el área de energías limpias. Existe un acuerdo generalizado en el sentido de que en adición al programa *cap & trade* es indispensable promover normas de desempeño que permitan cumplir con los objetivos de mitigación y equilibrar los costos de la mitigación entre los diferentes sectores. Esto es muy importante, ya que la elasticidad precio de ciertas actividades económicas es baja, como por ejemplo en el caso del consumo de combustible para el transporte. Puede esperarse que las regulaciones e incentivos fortalezcan las acciones en los sectores donde se espera obtener reducciones de menor costo o que reportan beneficios económicos y/o en áreas estratégicas, tales como la seguridad energética y la generación de empleo. Actualmente se encuentran en el senado las iniciativas de Ley que se presentan en la Tabla II.4.

Tabla II.4 Iniciativas de Ley actuales en materia de cambio climático en el Congreso de los Estados Unidos

Iniciativa de Ley	Status
The American Clean Energy and Security Act of 2009 (H.R.2454)	Pasó de la casa de representantes en Junio 26
The Clean Energy Jobs and American Power Act of 2009 (S.1733)	Pasó de la Comisión del Senado de Ambiente y Trabajos Públicos al pleno en Noviembre 5
The American Clean Energy Leadership Act of 2009 (S.1462)	Pasó de la Comisión del Senado de Energía y Recursos Naturales en Junio 17
The Clean Energy Partnerships Act of 2009 (S. 2729)	Presentada por el Senador Stabenow y referida a la Comisión de Ambiente y Trabajos Públicos
The Clean Energy Act of 2009 (S.2776)	Presentada por el Senador Alexander y Webb en Noviembre 1
The Carbon Limits and Energy for America's Renewal Act of 2009 (S.2877)	Presentada por el Senador Cantwell en Diciembre 11

Fuente: (PEW_Center, 2010a)

Ante la falta de acuerdos a nivel federal, diversas legislaciones e iniciativas estatales y locales han surgido, entre las más relevantes se encuentran:

- Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero (RGGI).
- Iniciativa de la Región Oeste para la Acción Climática (WCI).
- Acuerdo del Medio Oeste para Gases de Efecto Invernadero.
- Acuerdo para la Protección Climática de la Conferencia de Regentes de Estados Unidos.

Las principales medidas que se tomaron en Estados Unidos para reducir el consumo de energía, fueron resultado de la crisis petrolera de los 70's. Durante dicho periodo se desarrollaron los principales marcos normativos y ambientales que han permitido reducir la intensidad energética de la economía estadounidense. Actualmente existen tres leyes marco que estipulan acciones en el sector energía cuyos objetivos coadyuvan a mitigar el cambio climático. De estas leyes, se desprenden una serie de regulaciones específicas, estándares y programas. Asimismo, existen otras leyes que brindan atribuciones a la Agencia de Protección Ambiental de dicho país, principalmente la Ley de Aire Limpio, para establecer requerimientos de reducción de emisiones entre las que recientemente se consideran las emisiones de CO_2. A continuación se presenta una descripción de la principal iniciativa de Ley actualmente en discusión en el Congreso de los EUA y posteriormente se presentan las principales leyes vigentes con componentes relevantes para atender el cambio climático. Finalmente se describen algunos de los instrumentos normativos más relevantes actualmente vigentes.

Folio No. 00101

II.3.1 Iniciativa de Ley Waxman-Markey[12]

La iniciativa de ley H.R. 2454 "The American Clean Energy and Security Act of 2009" (US House of Representatives, 2009) mejor conocida como "Waxman-Markey" considera las siguientes acciones:

- Establecer estándares a los generadores de energía para llegar a tener hasta un 20% de la demanda de energía a través de fuentes renovables y eficiencia energética;
- Fija metas y requiere la creación de un plan estratégico para mejorar la productividad global del sector energético por lo menos en un 2.5% anual a partir de 2012 e irlo mejorando hasta 2030;
- Establece un sistema de comercio de gases de efecto invernadero (*Cap & Trade*).

El sistema de emisiones que se está proponiendo establece permisos de emisión anuales a partir de 2012 e incluye todos los GEI contemplados en el Protocolo de Kioto más el Trifluoruro de nitrógeno (NF3)[13], sin embargo en el caso de los gases fluorinados se tendrá un sistema separado. La administración de estos mercados correrá a cargo de la Environmental Protection Agency (EPA) y el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). En dicha ley, se establecen también metas claras de disminución que tendrán repercusión en las emisiones globales del país tomando como base el año 2005. En la siguiente Tabla II.5 se enlistan las reducciones esperadas:

Tabla II.5 Metas de reducción de emisiones en la economía de E.U.A.

Año	Metas de reducción
2012	-3%
2020	-17%
2030	-42%
2050	-83%

Fuente: Elaborado por CMM con base en H. R. 2454, The American Clean Energy and Security Act of 2009

Como en todo sistema *Cap & Trade,* uno de los factores clave es la distribución de permisos sus entes responsables. El resultado para el sistema propuesto es una mezcla de enfoques que varían de acuerdo al sector (ver Tabla II.6) y que cubren aproximadamente el 85% de la economía de los EUA, lo cual representa cerca de seis billones de toneladas de CO_2 equivalente. En la misma ley se establece que se distribuirá libremente el 80% de los permisos entre los actores de cada sector y partiendo de 2012 irán disminuyendo cada año. Se hará también una revisión periódica del estado del arte

[12] The American Clean Energy and Security Act of 2009
[13] Trifluoruro de Nitrógeno (NF_3): Gas químico sintético normalmente usado para las Pantallas de Plasma. No incluido en el Protocolo de Kioto y cuyo tiempo de vida estimado en la atmósfera se encuentra entre 550 y 740 años con un factor de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) de 17,200 a 100 años. Fuente: Prather 2008.

de la ciencia cada cuatro años (sección 705) para hacer los cambios y actualizaciones pertinentes, además se mantendrán 2.5 billones de toneladas métricas de los permisos como reserva estratégica (sección 726).

Tabla II.6 Distribución de Permisos en la propuesta de Ley "Waxman-Markey"

Etapa	Sector económico	Enfoque	Responsable
Primera (2012)	Energía	Downstream	Plantas de generación y distribución de energía (Eléctrica)
	Transporte	Upstream	Refinadores y formuladores (Petróleo y combustibles líquidos)
	Gases Fluorinados	Upstream	Productores e importadores
Segunda (2014)	Industria (grandes)	Downstream	Plantas industriales que emitan más de 25 mil toneladas de CO_2 equivalente por año
Tercer (2016)	Industria (pequeñas)	Downstream	Plantas productoras
	Comercial	Midstream	Compañías de distribución de gas Natural
	Residencial	Midstream	Compañías de distribución de gas Natural

Nota: HFC's cuentan con un sistema propio de Cap & Trade.

Fuente: Elaborado por CMM con base en H. R. 2454, The American Clean Energy and Security Act of 2009.

En particular, el asunto de interés para México se refiere a la posibilidad de participar en la reducción de emisiones por medio de los llamados "*offsets*" ó "compensaciones". La Propuesta de Ley Waxman-Markey establece (sección 722) que del total de emisiones de CO_2 que se contemplan en el mercado y a las cuales están obligados los responsables a cubrir pueden ser compensadas hasta por una cantidad de 2 billones de toneladas (1 billón por medio de proveedores nacionales y el resto por internacionales). Adicionalmente se autoriza al administrador a aumentar la cantidad de compensaciones internacionales a 1.5 billones en caso de que las compensaciones nacionales sean insuficientes.

No se establece límite para participar de las compensaciones internacionales, simplemente se especifican ciertos requisitos como los siguientes: 1) ser país en vías de desarrollo (de acuerdo a la OCDE), 2) contar con un convenio bilateral ó multilateral, tratado o memorándum de entendimiento más los requisitos que defina el administrador quien contará con un comité de evaluación (*Offsets Integrity Advisory Board*) el cual definirá la lista de proyectos elegibles, así como la revisión de metodologías, líneas base y en general cualquier otro asunto relevante que a las compensaciones competa (sección 731). La verificación, supervisión y auditoría de las compensaciones será responsabilidad

Folio No. 00103

de una tercera entidad acreditada y que será también auditada por el administrador (sección 735-738).

Se ofrecerán también créditos internacionales de compensación especiales divididos en tres rubros (sección 743):

- Créditos sectoriales
- Organismos Internacionales
- Sector Forestal

Los créditos sectoriales internacionales aplicarían a los mismos sectores que comprende el mercado de emisiones de E.U.A. con se la finalidad de minimizar potenciales problemas de pérdida de empleo y de fuga de emisiones a nivel internacional[14] (leakage) y para ayudar a los países beneficiados a emprender acciones de mitigación. Requerirán, además de los puntos anteriormente mencionados un perfil de cada país, sus acciones emprendidas contra el cambio climático, el nivel de sus emisiones y/o nivel socio-económico. Una restricción que incluye la propuesta de Ley es que no se expedirán créditos para proyectos basados en la destrucción de hidrofluorocarbonos. Los créditos que aplicarán a organismos internacionales para que estos mismos otorguen créditos como los MDL otorgados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, *por sus siglas en inglés*) u otros mercados de carbono, sin embargo en el caso específico de los MDL únicamente se aceptaran hasta 2016.

Por lo que hace al sector forestal, la propuesta de Ley establece las reglas para proyectos internacionales de reducción de emisiones en dicho sector. Se establecería en Estados Unidos un Administrador y una Junta de Gobierno para evaluar los proyectos. Se espera que dichos proyectos sean generalmente para atender el problema de zonas deforestadas aunque con una autorización de la Junta de Gobierno se podrían considerar proyectos tipo REDD en los que se atiene el problema de la degradación de bosques existentes, la pérdida de carbón en el suelo y pérdida de humedales. Se excluyen todos los proyectos que sean desarrolladas en el marco de algún otro convenio o tratado internacional que impliquen una obligación del país beneficiado para reducir sus emisiones de GEI ó para incrementar el secuestro y fijación de carbono. En la Tabla II.7 se mencionan algunos de los requisitos más importantes para los proyectos de deforestación que incluye la propuesta de Ley.

Tabla II.7 Algunos de los requisitos para acceder a los créditos de compensación por reducción de Deforestación en la propuesta de Ley "Waxman-Markey"

Sectorial	Proyecto
> 1% de emisiones de CO_2, globales, y/o	< 1% de emisiones de CO_2, globales
> 3% de emisiones de deforestación CO_2, y/o	< 3% de emisiones de deforestación CO_2, y/o
Establecer un Plan estratégico para alcanzar Deforestación "0" a 20 años	

[14] El problema de fuga de emisiones a nivel internacional conocido como "leakage" se refiere al escenario en el que reducciones de emisiones en un país conllevan aumento de emisiones en otro país con nulo beneficio ambiental.

Sectorial	Proyecto
Probada capacidad institucional, así como capacidad para medir, reportar y verificar e información mínimo de 5 años atrás y establecer una línea base nacional	
Adicionalidad basada en la Línea base menos las acciones unilaterales emprendidas por cada país beneficiado (políticas naciones e internacionales)	
La reducción de emisiones se debe llevar a cabo antes de la emisión del crédito	
Tomar en cuenta a las localidades implicadas (indígenas donde aplique) y aspectos de sustentabilidad	
Revisión cada 5 años y posible extensión por hasta 8 años	

Fuente: Elaborado por CMM con base en H. R. 2454, The American Clean Energy and Security Act of 200.

Por otro lado se establece también en la sección 751-756 otro paquete complementario de acciones para la reducción de emisiones por deforestación dirigido entre otras cosas a construir capacidades y crear mercados de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo a través de la agencia de ayuda USAID. Dichas acciones ser realizarán para alcanzar hasta 720 millones toneladas de CO_2 equivalente al 2020 acumulando al 2025: 6 billones de toneladas más. Para participar de este paquete se requiere: 1) ser identificado por el administrador y la agencia USAID como país susceptible a perder gran cantidad de bosques debido a la deforestación, 2) cumplir con ciertos estándares establecidos por los mismos actores además de 3) contar con un convenio bilateral o multilateral. Pasados cinco años se hará una revisión de la situación para saber si se han alcanzado logros significativos.

En cuanto a la disposición de las compensaciones, éstas son definidas por la propuesta de ley otorgando una cantidad o porcentaje fijo que se irá ajustando cada año de acuerdo al sector y responsable independientemente de la situación económica del año en cuestión. Cada permiso equivale a una tonelada de emisión de CO_2 equivalente durante el periodo correspondiente, así mismo los actores responsables participantes podrán vender, subastar, regalar o donar sus permisos de emisión a otros participantes que no hayan cubierto su cuota y refiere que en caso de no cumplir con sus respectivas responsabilidades los actores se harán acreedores a penalidades (Sección 782-792).

Para asegurar reducciones reales en emisiones industriales y prevenir el incremento de emisiones de los Estados Unidos así como prevenir la fuga de capitales en el Título IV (sección 762-) se propone tener compensaciones para la industria nacional y promover acciones sustantivas en países en vías de desarrollo rápido encaminadas a reducir las emisiones de GEI globales particularmente ligadas a el “Plan de acción de Bali” bajo la UNFCCC. Debido a lo anterior se compensará a la industria de manufactura nacional. Se hará una comparación de productos nacionales en contra de ciertos productos ó bienes sean provenientes del extranjero de alguno de los sectores identificados por el administrador (respecto a código North American Industrial Classification System - NAICS- de 2002 en sus apartados 31, 32 y 33 así como con respecto al documento: Harmonized Tariff Schedule of the United States). Se identificará si existe una competencia desleal en términos de los costos directos e indirectos por la disminución de GEI (excluyendo costos

Folio No. 00105

de producción) por parte de países cuyos compromisos, obligaciones y leyes respecto a la reducción de emisiones GEI sean menores ó más laxos con respecto a los de Estados Unidos y que consecuentemente ofrecerán sus productos a un costo más bajo, lo que ocasionaría mayor venta y por ende mayores emisiones a la atmósfera. Los factores básicos para determinar quien se hace acreedor a los reembolsos son: factores económicos que incluyan la energía usada o la intensidad energética (por lo menos 5%) así como la intensidad de comercio (por lo menos 15%) ó si la energía usada o la intensidad energética exceden de 20% del sector o subsector (sección 763 de la ley).

La lista definitiva de los sectores de manufactura elegibles para este apartado se presentará a más tardar el 30 de Junio de 2011 y se actualizará el 1ero. de Febrero de los años subsecuentes, sin embargo en la ley aprobada se presentan algunos sectores industriales que pudieran ser elegibles para tal efecto. Se cubrirá presumiblemente en general a toda industria que se beneficie ó procese: generación de energía y calor, minerales metálicos (incluyendo Hierro y Cobre), sosa comercial, fosfatos, excluyendo a la industria de extracción de los mismos. Se evaluará de acuerdo al "output" del sector ó subsector, ej. El sector cemento tiene un output de cemento hidráulico no clinker.

Los reembolsos de emisiones se efectuaran a más tardar el 31 de Octubre de cada año con base en ajustes a los factores de emisión directos ó indirectos (2012-2013) para los años subsecuentes a partir de 2026 se realizará de acuerdo a la cantidad calculada por un porcentaje que disminuirá cada año. Dichos reembolsos buscarán beneficiar la innovación y la mejora en la eficiencia energética. Las excepciones de aplicación serán (sección 768):

- Sector Petróleo
- Países menos desarrollados (de acuerdo con Naciones Unidas).
- Países que aporten menos del 0.5 por ciento del total de las emisiones globales.
- Cualquier país en el que el producto o sector en conflicto cumpla ó exceda los estándares fijados por el administrador (por ejemplo: el sector Cemento en México es más eficiente que en E.U.A. debido que en México la mayoría del proceso es seco, por tanto es menos intensivo).

Establece además un fondo para transferencia tecnológica de energías limpias (Sección 441 subtítulo D) para ayudar a países en vías de desarrollo. Ningún país podrá ser acreedor a más del 20% del total de los fondos, deberá tener un convenio o tratado internacional firmado y además deberá tener acciones ya emprendidas (unilaterales) para reducir emisiones de GEI, así como capacidad para reportar sus avances. Por su puesto todas las actividades y proyectos que se registren no deberán recibir créditos por compensación de GEI. Las áreas en las que se enfoca el fondo son:

1. Captura y almacenamiento geológico de carbono (CCS por sus siglas en Inglés),
2. Energías renovables (solar, eólica, biocombustibles, geotérmica, marina e hidrokinetica),
3. Eficiencia en transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica,
4. Desarrollo de tecnologías bajas o cero emisiones que presentan barreras para su desarrollo,
5. Eficiencia en el transporte,
6. Reducción de emisiones de carbón negro,

7. Construcción de capacidades,
8. Asesoría, desarrollo e implementación de tecnologías y políticas contra los GEI.

Por último se cuenta con un programa internacional de adaptación al cambio climático con el cual se proveen fondos para asistir a los países en vías de desarrollo para implementar programas de adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad de sus sociedades a los impactos del cambio climático. La ayuda se proporcionará a través de USAID, convenios ó tratados bilaterales ó multilaterales, internacionales ó una combinación de estos últimos y existirá prioridad para los países más vulnerables. Se actuará por medio del impulso a políticas públicas, estrategias de acción, construcción de capacidades, adaptación, reducción de la vulnerabilidad y desarrollo de tecnologías en áreas como: 1)Disponibilidad de agua, 2) Agricultura, 3) Inundaciones, 4) Recursos costeros, 5) Biodiversidad, 6) Salud y enfermedades, 7) Sustento económico y 8) Migración.

II.3.1.1 Iniciativa Kerry-Boxer[15]

Adicionalmente a la propuesta Waxman-Markey, otras iniciativas de Ley se discuten actualmente en el Senado de los Estados Unidos. A la fecha, las más relevantes por haber salido de las comisiones del Senado son la propuesta del Senador demócrata por Nuevo México Bingaman conocida como ACELA (*American Clean Energy Leadership Act of 2009 S.1462)* y la iniciativa de la senadora demócrata por California, Barbara Boxer, CEJAP (*Clean Energy Jobs and American Power Act of 2009 S.1733)*.

Una coalición de senadores encabezados por el senador J. Kerry, en la que participan el senador republicano Graham y el senador independiente Lieberman se encuentran negociando para poder pasar la legislación de cambio climático en este Congreso. Como parte de estos trabajos han publicado algunos criterios en los que se establecen las líneas base de negociación conocidos como el Marco para la Acción Climática y la Independencia Energética del Senado de Estados Unidos, *Framework for Climate Action and Energy Independence in the U.S. Senate* (US Senate, 2009). Este documento fue preparado para apoyar las negociaciones internacionales en la cumbre de Copenhague ante la falta de una legislación en los Estados Unidos.

Al menos cuatro comisiones del Senado tienen competencia en las materias reguladas por las iniciativas de Ley, por lo que los tiempos para poder iniciar la discusión de la legislación de cambio climático aun no son fijos ni se tiene certidumbre sobre si entrará al pleno en esta legislatura. Se espera que una vez concluida la discusión sobre la legislación del sistema de salud el tema de cambio climático vuelva nuevamente a la agenda del Senado, aunque esto depende de que los Senadores la presenten nuevamente y que se abran las audiencias para discutir estas propuestas de ley. Se espera que el líder demócrata en el Senado, Reid, pueda integrar una propuesta que considere los distintos elementos presentados por el Senado y la propuesta de la Casa de Representantes (iniciativa Waxman-Markey) para que se pueda discutir en el pleno una legislación federal. De acuerdo con los procedimientos internos del Congreso, las propuestas de ambas Cámaras deben integrarse para contar con una sola iniciativa antes de que pueda ser enviada al presidente Obama.

[15] Clean Energy Jobs and American Power Act (S. 1733)

Folio No. 00107

Es decir, cabe la posibilidad de que exista una ley sobre cambio climático en los Estados Unidos que integre los principales elementos de la propuesta de la cámara baja y las modificaciones sugeridas por los Senadores. Evidentemente, que esta legislación pase requiere de un arduo proceso de negociación por parte de la administración demócrata y de esfuerzos de coordinación de ambos partidos en el Senado. A continuación se describen brevemente los principales elementos nuevos con respecto a la propuesta Waxman-Markey de las dos iniciativas que han pasado de alguna de las comisiones del Senado.

A continuación se describe la propuesta CEJAP como una de las principales iniciativas en el Senado de los Estados Unidos. La propuesta CEJAP tiene muchos elementos en común con la iniciativa Waxman-Markey sin embargo es más limitada en el sentido que se enfoca únicamente a limitar las emisiones de GEI y tiene un objetivo de reducción menos ambicioso para el 2020 (Ver Figura II.7). Algunos elementos distintivos es que da autoridad al Departamento de Agricultura como la agencia reguladora para el tema de créditos de proyectos en los sectores agrícola y forestal (la propuesta WM da a la EPA la regulación de todos los créditos) y también limita otras atribuciones de la EPA derivadas de la Ley de Aire Limpio. Un tema relevante para México que aún queda abierto a discusión por otras comisiones es la cantidad de créditos provenientes del mercado internacional que se permitiría utilizar para cumplir con los límites de emisión dentro de los Estados Unidos. Muchos analistas consideran que esta iniciativa puede ser un punto de partida para la propuesta del Senado, aunque en sí misma no es completa y será modificada para integrar otros aspectos particularmente energéticos.

La iniciativa propone la creación del programa de inversiones para reducir la contaminación a través de instrumentos de mercado. Asimismo, la ley contempla el uso de estándares de emisión para diversas industrias, apoyos a la investigación, y programas para incrementar la eficiencia energética y del agua. Su objetivo es fomentar una transición hacia una economía energética limpia. Contiene diversas estipulaciones para mitigar los impactos económicos de la política climática, particularmente impactos en la fuerza de trabajo y los asociados al incremento del precio de los combustibles. La propuesta cubre los siete gases identificados como GEI en todas las fuentes estacionarias que emitan más de 25,000 toneladas al año, lo que implicaría un 85% del total de las fuentes de emisión de GEI. Se establece un mercado separado para los HFC y en el caso de los perflurocarbonos se asigna a la EPA la responsabilidad de decidir la forma de regulación. Por lo que hace al tema de “black carbon” también asigna a la EPA la responsabilidad de la regulación.

En comparación con la propuesta de WM, la reducción de emisiones al 2020 es superior pues se pide un 20% en comparación con un 17%. Por lo que hace a la distribución de los permisos, es muy similar a la WM, con algunas diferencias, por ejemplo se establece una reserva de permisos para promover sistemas de planeación de transporte urbano, reforzar el cumplimiento de los códigos de construcción, programas de eficiencia en el agua, y una partida para programas de capacitación para trabajadores en la industria de la energía nuclear. Además, a diferencia de la WM esta iniciativa subasta 10% de los permisos desde el inicio incrementando a 25% en el 2010 para asegurarse de que no se incremente el déficit público como resultado de la aplicación de la Ley. Las medidas para contener el costo del permiso de CO_2 son muy similares a la WM aunque permite unas 750 millones de toneladas adicionales del mercado internacional en caso de que sea insuficiente la oferta de permisos en el mercado doméstico. Un método que incluye esta ley para la contención del precio es la creación de una “reserva para la estabilidad del mercado” la cual se crearía con bonos forestales nacionales e internacionales y se

utilizaría cuando el costo de la tonelada rebase los $28 dólares en una primera etapa (este techo se incrementaría anualmente 5% al 2017 y 7% después de dicho año).

Algunas de las medidas complementarias que incluye esta propuesta son:

- Programa específico a 10 años para incentivar la tecnología de captura y secuestro de carbono
- Expansión de la tecnología nuclear con apoyo a programas de investigación para el manejo de los residuos nucleares y temas de seguridad, así como programas de capacitación
- Programas de investigación, desarrollo y comercialización para tecnologías de baja emisión que utilicen gas natural como combustible
- Financiamiento para programas estatales de eficiencia energética, incluyendo el código de construcción y los programas retrofit
- Nueva normatividad para las plantas a carbón nuevas en las que se requiere la captura y secuestro de carbono
- Nueva normatividad para transporte pesado
- Restricción para los estados para establecer programas estatales tipo “cap and trade” por seis años

Un tema importante que la propuesta de Ley retoma es que a diferencia de la WM, esta iniciativa no limita la facultad de la EPA para establecer normatividad para plantas nuevas, sin embargo sí establece que la misma no deberá ser efectiva antes de 2020 para fuentes fuera del programa cap and trade. Por otra parte, sí limita a la EPA de regular las emisiones de GEI bajo el esquema del título V de la Ley de Aire Limpio, es decir como contaminantes criterio o tóxicos a la salud.

II.3.2 Ley para la recuperación y reinversión: asignaciones para la energía limpia promulgada en 2009[16]

Como parte fundamental del paquete económico de respuesta a la crisis que experimenta los Estados Unidos, en febrero de 2009 se promulgó la Ley para la Recuperación y Reinversión: asignaciones para la energía limpia, (ARRA) en la que se incluyó un gasto público de 80 miles de millones de dólares para apoyar la investigación en energía limpia, desarrollo y comercialización. En la ley se incluyen asignaciones financieras directas a programas de promoción de la energía limpia y una serie de impuestos especiales. A continuación se describen los primeros y sistema de impuestos se detallará en el entregable 5. Las principales asignaciones directas de este programa son las siguientes:

- El Fondo de Ciencia del Departamento de Energía se le dio una asignación de 1.6 mil millones de dólares de los cuales 277 millones son para el Centro de Investigación en Energía de Frontera, con el objeto de financiar la investigación en tecnologías de energía alternas y costo efectivas.
- El Programa Red Inteligente que cuenta con 4.5 miles de millones de dólares (autorizado por el Energy Independence and Security Act del 2007).
- Programa de garantías para tecnologías innovadoras con una asignación de 6 mil millones que tiene como objetivo acelerar el despliegue comercial de tecnologías limpias (autorizado inicialmente bajo la Ley de Política Energética de 2005 con un fondo de 2 mil millones).

[16] American Recovery And Reinvestment Act: Appropriations For Clean Energy

- Programa de préstamos para acelerar la expansión de las líneas de transmisión de energía renovable en las administraciones de Bonneville y del Área occidental[17] con una asignación de hasta 6.5 mil millones de dólares.
- Programa de subvenciones para la eficiencia energética y ahorro de energía de 2.7 mil millones de dólares administrado por el Departamento de Energía. Las subvenciones se asignan a los estados, territorios, gobiernos locales y a las tribus indígenas (autorizado inicialmente por la Energy Independence and Security Act of 2007 pero sin fondos).
- Programa del Estatal de Energía administrado por DOE de 3.1 miles de millones de dólares.
- Apoyo para el acondicionamiento al clima de los hogares de bajos recursos por 5 mil millones de dólares.
- Fondos discrecionales para la promoción de la investigación y desarrollo asignados al Departamento de energía por 2.5 mil millones de dólares, incluyendo 800 millones para biocombustibles de siguiente generación, 400 millones para tecnología geotermia, y diversos apoyos tales como fondos para el proyecto de pruebas de grandes turbinas eoloeléctricas en Universidad de Carolina del Sur.
- Programa a nivel estatal y local para apoyar mejoras en los vehículos por 400 millones.
- Subvenciones por 2 mil millones de dólares para apoyar el desarrollo de baterías avanzadas para instalaciones en los Estados Unidos.
- Programa del Departamento de Energía para Ciudades Limpias que cuenta con 300 millones.
- Programa del Departamento del Trabajo para la capacitación de la fuerza laboral en energías limpias por 500 millones.
- Programa del Departamento de Energía a través de la Oficina de Entrega de Energía por 100 millones.
- Asignaciones por más de 110 millones de dólares al Laboratorio Nacional de energía renovable, en particular para investigación en energía eólica y aumentar su biorefinería.
- Más de 3 mil millones de dólares administrados por el departamento de tesorería para apoyo de proyectos renovables, mismos que se asignarán a través de solicitudes y evaluaciones de experto.

II.3.3 Ley sobre Independencia y Seguridad Energética de 2007[18]

La Ley sobre Independencia y Seguridad Energética se promulgó en diciembre de 2007. Su objetivo es expandir la producción de biocombustibles, reducir la dependencia de los Estados Unidos al petróleo e incrementar la seguridad energética a la vez que se mitigue el cambio climático. Las principales estipulaciones de esta ley son:

[17] Bonneville Power Administration and Western Area Power Administration
[18] Energy Independence and Security Act 2007

Folio No. 00110

1. Incrementar la oferta de combustibles alternos. Se estableció el Estándar de Combustible Renovable (RFS), que establece una meta de al menos 66 mil millones de galones de biocombustibles al año 2022. Asimismo, establece incentivos para el desarrollo de nuevas tecnologías. Algunas de las medidas son:

    - Programa de Asociaciones para la Manufactura e Innovación en Energía Renovable. Consiste en incentivos para promover la investigación y desarrollo, demostración e implementación de procesos de manufactura avanzados. Las tecnologías elegibles para el apoyo son la solar, eólica, biomasa, geotermia así como los sistemas de almacenamiento de energía y de celdas de combustibles.

    - Incentivos para la construcción de proyectos comerciales menores de 15 MW de generación de electricidad a base de renovables. Se dará un cofinanciamiento de hasta 50% para la etapa de construcción. Las tecnologías elegibles incluyen la energía solar, eólica, geotermia, marítima, biomasa y aprovechamiento de gas metano de rellenos sanitarios.

2. Estándar de eficiencia para los vehículos, de 35 millas por galón, en el 2020. La Ley da atribuciones al Departamento de Transporte para expedir “estándares de atributo”. Similares a las Normas de producto en México.

3. Estipulaciones para mejorar la eficiencia energética en el alumbrado. Entre ellas se incluye: a) eliminar el uso de focos incandescentes en el 2014, mejorar la eficiencia de la iluminación en más del 70% para el 2020; b) requerir que los sistemas de iluminación en los edificios públicos del gobierno federal cuenten con la certificación del programa Energy Star o que usen productos del Programa del Departamento de Energía para la Administración de Energía antes del fin del año fiscal 2013; c) establecer un estándar de eficiencia energética para los sistemas de iluminación para el servicio general de entre 150 watts y 500 watts; d) establecer un programa de información a los consumidores sobre el ahorro de energía basado en estudios de mercado; e) estableció los premios “mañana brillante” que entrega 10 millones de dólares para el reemplazo de lámpara LED (60W incandescente); 5 millones para el reemplazo de la lámpara de halógeno PAR 38 y 5 millones para la lámpara “siglo veintiuno” basada en tecnologías de estado sólido conocidas como SSL.

4. Estipulaciones para mejorar la eficiencia energética de los aparatos. Esto incluye una actualización de la Ley de Política Energética y de Ahorro de Energía (Energy Policy and Conservation Act) con el fin de incluir nuevos estándares de eficiencia energética para aparatos de calefacción y refrigeración, productos electrónicos de consumo final, calentadores residenciales, motores eléctricos y aparatos domésticos. Asimismo se instruyó a la Comisión de Seguridad de Productos de los Consumidores (Consumer Product Safety Commission) para establecer requerimientos para el etiquetado de los productos electrónicos de consumo final.

5. Nuevos procedimientos administrativos para agilizar el proceso de expedición de regulaciones por parte del departamento de energía. En particular, se instruyó al Departamento de Energía (DOE) a expedir las regulaciones sobre estándares de eficiencia para los cargadores de baterías y para terminar el proceso regulatorio para los ventiladores, para el 2013. Se dio atribuciones al DOE para establecer estándares regionales diferenciados para equipos de calefacción y de aire

Folio No. 00111

acondicionado. En adición, se instruyó al gobierno federal a comprar aparatos que minimicen el uso de energía en reposo.

6. Estipulaciones para mejorar la eficiencia energética en edificios. Se creó la oficina de edificios verdes de alto rendimiento ("Office of High-Performance Green Buildings"). El DOE establecerá estándares a través del Código de regulaciones para Mejoras Aplicables a la Manufactura de Vivienda ("Code Improvements Applicable to Manufactured Housing"). Se reducirá el consumo de energía de las instalaciones del gobierno federal en 30% para el 2015, y todos los edificios nuevos del gobierno federal deben tener emisiones neutras[19] de bióxido de carbono para el 2030. Los nuevos estándares para edificios del gobierno federal y aquellos que requieran de renovaciones mayores deberán de reducir su uso de combustibles fósiles en 55% para el 2010, considerando como año base el 2003, y eliminar su uso en el 2030. Con algunas excepciones, se prohibió a las agencias federales arrendar edificios o espacios que no cuenten con la certificación "Energy Star" de la Agencia de Protección Ambiental.
7. Medidas especiales para promover la eficiencia energética y reducir las emisiones de GEI en el Capitolio.
8. El Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano fue instruido para actualizar los estándares de eficiencia energética aplicable a la vivienda pública y de asistencia aplicando el Código de Ahorro de Energía.
9. Iniciativa de Cero Energía Neta en Edificios Comerciales. La iniciativa busca establecer una meta de cero energía neta para edificios comerciales nuevos en los Estados Unidos a partir de 2030; 50% del total de edificios comerciales para el 2040 y la totalidad de edificios comerciales en 2050.
10. Estipulaciones para mejorar la eficiencia energética en el transporte con el fin de aumentar la eficiencia energética a través de hacer más estrictos las normas CAFE (Corporate Average Fuel Economy- Eficiencia promedio del rendimiento del combustible). Se espera que para el 2020 Estados Unidos llegue a un estándar CAFE de 15 km por litro, con estándares diferenciados para carros ligeros y camiones. La ley establece también un programa de comercio de créditos que les permitirá obtener beneficios de reducciones adicionales al promedio mínimo, así como contar con flexibilidad de hasta 3 años en los que podrán utilizar créditos en préstamo, mismos que deberán ser reducidos de sus asignaciones futuras.
11. Establece un fondo de investigación para la tecnología de captura y almacenamiento de carbono.
12. Establece un fondo de investigación para las tecnologías de hidrógeno, incluyendo el Premio H-, un programa que otorga premios en efecto a la investigación avanzada para la demostración y aplicación comercial de dichas tecnologías.

Esta ley incorpora muchas de las propuestas que fueron discutidas en el Congreso norteamericano tales como el Acta para Trabajos Verdes 2007 (Green Jobs Act of 2007), el Acta para la Investigación y el Desarrollo de la Energía Renovable Marítima de 2007 (Marine Renewable Energy Research and Development Act of 2007), y la Ley para la Investigación y Avance de la Energía Solar 2007 (Solar Energy Research and

[19] Cero Emisiones netas se refiere a que en caso de existir emisiones, éstas deben contar bonos u otros mecanismos que permitan reducir en igual cantidad dichas emisiones para un total neto de cero emisiones.

Advancement Act of 2007), la Ley de Investigación y Desarrollo de Biocombustibles (Biofuels Research and Development Enhancement Act) y la Ley para la Investigación y Desarrollo de la Energía Geotérmica 2007 (Advanced Geothermal Energy Research and Development Act of 2007).

II.3.4 Ley de política energética de 2005[20]

Esta Ley está vigente desde agosto del 2005 y brinda diversos incentivos y préstamos garantizados para la producción de energía de varios tipos. Por lo que hace a los componentes que ayudarían en la mitigación del cambio climático se mencionan los siguientes:

- Deducible de impuestos de hasta $3400 dólares a los propietarios de vehículos híbridos
- Diversos tipos de subvenciones fiscales a las siguientes industrias:
  - 4.3 mil millones de dólares para la energía nuclear.
  - 2.7 mil millones de dólares para los créditos a la producción de renovables.
  - 1.6 mil millones de dólares para inversiones en “carbón limpio”.
  - 1.3 mil millones de dólares para ahorro y conservación de energía.
  - 1.3 mil millones de dólares para motores alternos y flexibles a biocombustibles.
- Requiere a las instalaciones federales a comprar un porcentaje de energía de fuentes renovables.
- Autoriza los préstamos de garantía para tecnologías innovadoras que disminuyan la emisión de GEI, incluyendo los reactores nucleares avanzados (tales como los PBMR), carbón limpio y energía renovable.
- Aumenta el requerimiento de biocombustibles en las gasolinas al triple (7.5 miles de millones de galones para 2012).
- Autoriza $200 millones anuales para iniciativas de carbón limpio (redujo también algunos requerimientos a las minas de carbón y mando un inventario nacional sobre los recursos de carbón en tierras federales que no fueran parques nacionales).
- Autorizó subsidios para la energía eólica y otras energías alternas.
- Incluyó por primera vez a la energía maremotriz como una categoría separada de renovables.
- Estableció un fondo de 50 millones de dólares anuales para el programa de biocombustibles.
- Incluye algunas estipulaciones para mejorar la competitividad de la energía geotérmica con respecto a los combustibles fósiles para la generación de electricidad.

[20] Energy Policy Act of 2005 también conocida como Energy Bill

Folio No. 00113

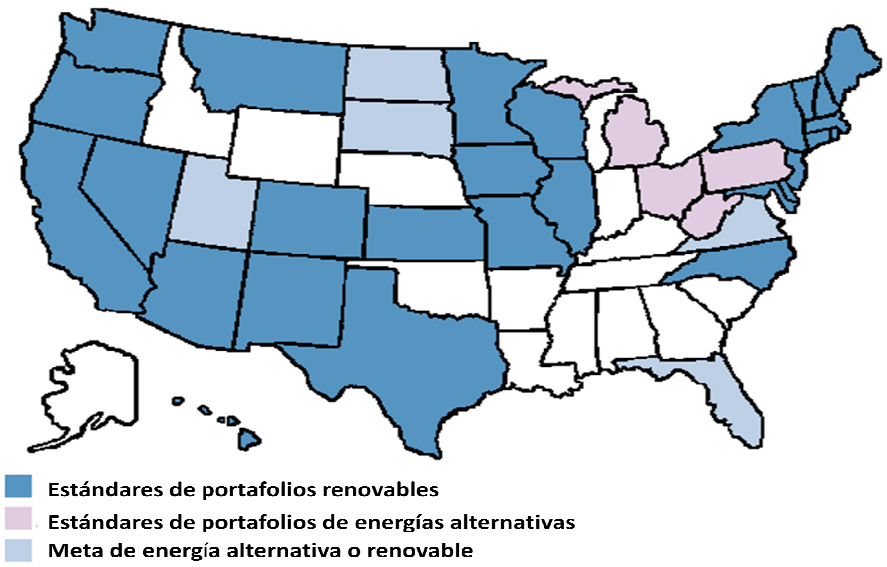
- Estableció como obligación del Departamento de Energía un reporte sobre el potencial de los recursos renovables incluyendo energía eólica, solar y maremotriz.
- Estableció subvenciones para las personas que hagan mejoras para el ahorro de energía en sus hogares.
- Estableció el programa de ahorro de energía por cambio de horario en aproximadamente cuatro semanas.
- Requiere que la flotilla de carros del gobierno federal que puede operar con combustibles alternos opere únicamente con dichos combustibles.
- Estableció estándares de confiabilidad de la red eléctrica (en respuesta al apagón del año 2003).

En términos generales esta ley extendió el campo de aplicación de la Sección 45 del Código de Regulaciones, para los créditos deducibles a través de la generación de electricidad por viento, biomasa, geotermia, solar, irrigación de pequeña escala, residuos municipales sólidos y refinación de carbón.

II.3.5 Políticas de promoción a las energías renovables a nivel estatal- estándares sobre portafolios de renovables[21]

Los estándares de portafolios de renovables (RPS) establecen una meta de generación de electricidad a nivel estatal con energía renovable; actualmente más de 29 estados de la unión Americana, tienen un nivel obligatorio en la mezcla de generación de electricidad ya sea de algún tipo de energía o de una mezcla de eólica, solar, biomasa, geotermia, y otras.

Figura II.8 Estados con estándares sobre portafolios de renovables



Fuente: (PEW Center, 2010b)

[21] State-Level Renewable Energy Policies - Renewable Portfolio Standards

II.3.6 Nueva Regulación para el reporte de gases de efecto invernadero

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) estableció una nueva metodología obligatoria para el reporte de emisiones de GEI vigente a partir de enero de 2010. La cobertura de este programa de reporte es de aproximadamente el 85% de las emisiones de GEI de Estados Unidos provenientes de alrededor de 10,000 fuentes de emisión. El nuevo sistema incluye tanto a las fuentes de emisión industriales como a la industria de manufactura de motores vehiculares y maquinaria, y todas aquellas instalaciones que emitan más de 25,000 toneladas métricas de CO_2 equivalente por año. El primer reporte que incluirá esta cobertura será entregado a la EPA en 2011[22].

II.3.7 Nuevas regulaciones para mejorar el cumplimiento de la normatividad en materia de eficiencia energética

El departamento de energía estableció en octubre de 2009 tres nuevas acciones para mejorar el cumplimiento de las normas sobre eficiencia energética:

- Se crea un equipo encargado del cumplimiento normativo dentro de la Oficina del Consejo General.
- Revisiones aleatorias de las empresas manufactureras que obtienen la certificación del Departamento de Energía.
- Guías especiales sobre el cumplimiento de las regulaciones energéticas.

Estas nuevas regulaciones buscan tener una mayor efectividad de la Ley de Política de Conservación de Energía promulgada en 1975 que al mismo tiempo permita una competencia justa entre los manufactureros.

II.3.8 Estándares de economía de combustible en la industria automotriz 2008-2011[23]

En marzo de 2006, el Departamento de Transporte estableció nuevas metas para la eficiencia de combustible de los vehículos en Estados Unidos para la categoría de “Light truck Vehicle” (SUVs, pick-up trucks). El estándar se hizo más estricto al pasar de 21.6 a 24 millas por galón para los modelos 2008 a 2011. Entre 2008 y 2011 cada empresa manufactura automotriz debe escoger el método para el cumplimiento de los estándares de entre las opciones establecidas en el CAFE anterior o a través de la aplicación directa de los estándares que se establecieron 2006.

Bajo el esquema tradicional la eficiencia debe aumentar de la siguiente forma:

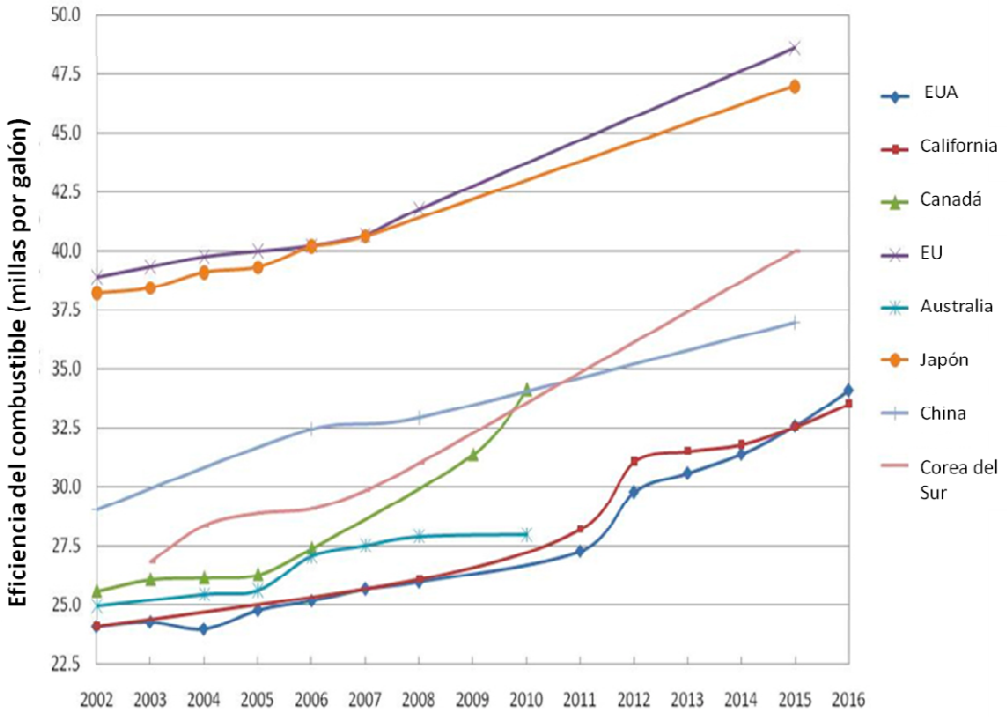
- Modelo 2007 - 22.2 mpg
- Modelo 2008 - 22.5 mpg
- Modelo 2009 - 23.1 mpg
- Modelo 2010 - 23.5 mpg

[22] Con algunas excepciones de industrias a las que se permitió iniciar el reporte a partir de 2011, tal como la industria de motores vehiculares.
[23] Cafe: Fuel Economy Standards: Light Trucks 2008-2011

- Modelo 2011 - 24 mpg

Bajo la estructura anunciada en marzo de 2006 cada empresa debe cumplir con el estándar a través del conjunto de vehículos que vende. La economía del combustible se establece como una función del tamaño del vehículo. Un promedio general de cada empresa manufacturera para cada modelo se establece promediando la economía del combustible individual de los vehículos que vende. A partir del 2011 todas las empresas deben cumplir con los estándares de 2006. Cómo se explicó, la Ley de Independencia y Seguridad Energética, incluye una meta más estricta para el 2020. Debe considerarse el status de esta legislación en comparación con los avances en otros países sobre eficiencia de combustibles. La Figura II.9 muestra la trayectoria y evolución esperada para diferentes países.

Figura II.9 Eficiencia de Combustible Automotriz en Países Seleccionados



Fuente: (PEW_Center, 2009)

Elaborada por el Pew Center tomando como base los trabajos de An, F., and A. Sauer. 2004 y actualizada con datos de The International Council for Clean Transportation en noviembre de 2009.

II.3.9 Promoción de la energía geotérmica

Se han diseñado esquemas para permitir un arrendamiento competitivo de tierras federales con fines de explotación geotérmica ofreciendo un pago simplificado de derechos y estableciendo un fondo de 4 millones de dólares para apoyar a los municipios donde actualmente se realiza generación geotérmica. En el año 2008 el Buró de Administración de la Tierra el procedimiento que deben de realizar los interesados

Folio No. 00116

conocido como PEIS por sus siglas en inglés (Programmatic Environmental Impact Statement), lo que ha permitido avanzar en este tema en 11 estados de la costa oeste.

II.4 Canadá

Canadá, al igual que México, no es uno de los principales emisores de GEI pues contribuye con aproximadamente el 2% del total mundial; sin embargo, a diferencia de México, es uno de los países con mayores emisiones per cápita. Esto se debe a que la generación de su energía es intensiva en combustibles fósiles y a que tienen un sector industrial desarrollado de alto consumo de energía. Además, Canadá es uno de los pocos países industrializados que es un exportador neto de carbón, petróleo, gas natural y posee grandes reservas de estos recursos no renovables. Las emisiones netas de Canadá han experimentado un aumento continuo desde la firma del Protocolo de Kioto, tendencia impulsada tanto por su desarrollo económico como por el crecimiento de su población.

La política federal de Canadá en materia de cambio climático es complicada dada la división administrativa del país. Por un lado, el manejo de los recursos naturales renovables y no renovables es competencia de los gobiernos provinciales y por otro, la federación es responsable de la política exterior. La economía de algunas provincias es altamente intensiva en el uso de combustibles fósiles, por lo que lograr acuerdos aceptables para una normativa nacional ha requerido de acciones importantes de negociación al interior del país y ha tenido sus altibajos entre las administraciones más conservadoras y gobiernos más liberales, particularmente ante la influencia de la posición negociadora de los Estados Unidos[24].

La actual administración en Canadá ha dado un impulso nuevo a la legislación en la materia y ha establecido la meta de reducir 20% en el año 2020 con respecto a los niveles de 2006. Para lograr esta meta se ha promulgado una Ley en la materia así como programas especiales. Las provincias de British Columbia, New Brunswick, Nova Scotia, Quebec, Saskatchewan, Manitoba y Ontario han establecido metas específicas para cada región en reducción absoluta de toneladas y Alberta ha establecido una meta en función de la intensidad de carbono que espera de su economía. A continuación se describe la Ley de Implementación del Protocolo de Kioto expedida por Canadá en el 2007 y los programas de ella derivados o estrechamente vinculados, tales como los programas de eficiencia energética.

II.4.1 Ley de Implementación del Protocolo de Kioto[25]

La ley de implementación del Protocolo de Kioto fue expedida en 2007 dando un marco legal a la acción para el cambio climático a nivel federal en Canadá. El país enfrenta un reto mayúsculo para avanzar en su meta de reducción. Si el país quisiera cumplir su meta debería emitir como máximo un promedio de 562 Mt de CO_2e durante el periodo 2008-2012. Sin embargo, la tendencia de crecimiento económico a la fecha indicaría el país emitirá del orden de 825Mt promedio al año. Estudios económicos han señalado que

[24] Canadá por ejemplo redujo su meta de mitigación de gases de efecto invernadero como resultado de Copenhague ante la meta propuesta por los Estados Unidos.

[25] Kyoto Protocol Implementation Act

Folio No. 00117

llevar a cabo las reducciones necesarias incrementaría drásticamente el precio de los energéticos. Por ejemplo implicaría duplicar el precio del gas natural y aumentar los precios de la electricidad en aproximadamente 50% en promedio después del 2010. Los precios de la gasolina y el diesel tendrían que aumentar 60%. Por esta razón, el gobierno ha señalado que difícilmente Canadá cumplir la meta de Kioto; sin embargo el ha publicado un Plan de Cambio Climático que contempla las acciones que se consideran podrán aportar la mayor cantidad de reducción de emisiones en el menor plazo. Se estima que con acciones a nivel local y federal las emisiones de GEI de Canadá podrían llegar a un máximo en el 2010 o a más tardar en el 2012 y entrar en una ruta de decrecimiento a partir de dicho año.

El instrumento fundamental que deriva de la Ley es el Programa de Cambio Climático, el cual es un programa anual que prepara el Ministerio de Ambiente y publica a más tardar el 31 de mayo durante el periodo 2007-2013. El documento describe las medidas para que Canadá avance en el cumplimiento de su meta en el Protocolo de Kioto. Entre las medidas que el plan debe delinear se encuentran las siguientes:

1. Límites de emisión y estándares de rendimiento.
2. Instrumentos económicos tales como mecanismos de comercio de emisiones y de créditos de emisiones por proyecto.
3. Incentivos fiscales incluyendo de forma relevante medidas para que los trabajadores afectados por cambios que afecten a las industrias energéticas logren insertarse adecuadamente en la transición.
4. Medidas de cooperación entre las provincias y territorios y con otros gobiernos.

Una de las preocupaciones más relevantes para las provincias de Canadá es la distribución equitativa de la carga de mitigación entre los diferentes sectores. Otro componente importante de esta ley son las acciones para el control y monitoreo de cada una de las medidas. El gobierno debe identificar año con año el cumplimiento y en su caso las causas por las que no se hayan obtenido las reducciones esperadas. Las secciones 6 a 8 de esta ley establecen las bases para la regulación de los GEI. La sección 6 establece las competencias para establecer la regulación de gases de efecto invernadero. La sección 7 establece los plazos en los que el Consejo debe asegurar el cumplimiento del Protocolo de Kioto considerando las modificaciones necesarias en la regulación existente. La sección 8 establece los procedimientos de consulta pública necesarios antes de expedir las regulaciones resultado de esta Ley. A continuación se describe el programa de acción climática de Canadá.

II.4.2 Programa de Acción para la Reducción de los Gases de Efecto Invernadero y la Contaminación del Aire[26]

El gobierno de Canadá expidió en 2007 su Programa de Acción para la Reducción de los Gases de Efecto Invernadero y la Contaminación del Aire. Su meta es desarrollar una política integral que permita mitigar emisiones de GEI y al mismo tiempo reporte beneficios para la población al reducir los contaminantes con impacto en la salud y los ecosistemas. El programa incluye estipulaciones para regular la economía de combustible de los vehículos a partir del modelo 2011 y pretende hacer más estrictos los estándares de eficiencia energética de productos eléctricos, incluyendo la iluminación.

[26] Turning the Corner: An Action Plan to Reduce Greenhouse Gases and Air Pollution

Las metas para el sector industrial tienen por objeto reducir la intensidad energética[27] en 18% al 2010 con respecto a los niveles de 2006 y posteriormente en 2% cada año. Las instalaciones en operación desde el 2004 deberán cumplir con límites más estrictos que implican el uso de combustibles más limpios y tecnologías ambientales. Por lo que hace a las centrales eléctricas a carbón y que usan arenas petrolíferas que entren en operación a partir del 2012 deberán cumplir con límites estrictos que implican el uso de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono o alguna tecnología equivalente para el 2018. El gobierno de Canadá ha considerado necesario impulsar instrumentos económicos que permitan lograr estas metas de una forma costo-efectiva. Para ello Canadá trabaja en un esquema doméstico de comercio de emisiones, en esquemas de proyectos de créditos de emisiones (*offsets*) y en impulsar el MDL. Asimismo, se buscan esquemas de financiamiento a través de fondos e inversiones calificadas que logren los objetivos de reducción de emisiones.

II.4.3 Programa ecoacción

En adición al Programa de Cambio Climático, el gobierno de Canadá ha lanzado una serie de programas e iniciativas con fondos destinados a apoyar la transición energética y desarrollo tecnológico en áreas estratégicas. Entre ellos destacan las iniciativas EcoEnergía, EcoTransporte y EcoAgricultura que iniciaron en el año 2007.

II.4.3.1 Iniciativa ecoenergía

La iniciativa EcoEnergía tiene varios componentes los siguientes componentes:

a) EcoEnergía Tecnológica
b) EcoEnergía para la Energía Renovable
c) EcoEnergía para sistemas de calefacción a base de energía renovable
d) EcoEnergía para edificios y residencias
e) EcoEnergía para el Retrofit
f) EcoEnergía para la Industria
g) EcoEnergía para el programa de Captura y Almacenamiento de Carbono en Alberta

La iniciativa EcoEnergía tecnológica cuenta con un fondo de inversión de $230 millones en los siguientes 4 años para la investigación, desarrollo y comercialización de energías limpias. Se espera que esta iniciativa de resultados tangibles para el mediano y largo plazo, por la naturaleza misma de los fondos de investigación. La iniciativa de EcoEnergía Renovable cuenta con 1.48 miles de millones de dólares canadienses para los próximos 14 años para incentivar la oferta de electricidad a base de energía renovable eólica, biomasa, pequeña hidroeléctrica y energía maremotriz. Se espera que esta iniciativa reduzca alrededor de 6 Mt por año en los próximos tres años.

La iniciativa de EcoEnergía para sistemas de calefacción a base de energía renovable cuenta con $36 millones de dólares canadienses para los próximos cuatro años y tiene por objeto apoyar los calentadores solares para agua y para la industria de la

[27] Es conveniente resaltar la diferencia entre establecer límites absolutos versus límites en intensidad energética. Los límites absolutos establecen un total de emisiones permisibles, lo que se conoce como "cap" total por su uso en los programas de comercio de emisiones. Por el contrario los límites de intensidad no brindan certidumbre sobre el total de emisiones, sino que establecen un estándar de desempeño. Este tipo de estándares son más flexibles para la industria sin embargo, en contraparte, no permiten un control sobre el impacto ambiental agregado.

Folio No. 00119

construcción. Se espera que en los próximos 3 años esta medida reduzca 0.02 Mt por año. La iniciativa EcoEnergía para edificios y residencias cuenta con $60 millones de dólares canadienses para los próximos cuatro años los que se destinarán para realizar auditorías energéticas de los edificios, etiquetados y programas de entrenamiento. Se espera que en los próximos 3 años este programa reduzca aproximadamente 1.30 Mt. Los instrumentos de política para promover la eficiencia energética en la construcción incluyen:

- Eficiencia Energética en Nuevas Edificaciones
- Validación del Diseño de Nuevos Edificios
- Modelo Nacional de Código de Energía para Edificios
- Sistema de Referencia para la calificación de edificios
- Iniciativa para edificios del gobierno federal
- Normatividad R-2000 (Normatividad voluntaria más estricta en material ambiental que los códigos de construcción que recibe una certificación especial del gobierno de Canadá)
- Guía para las auditorías energéticas
- Iniciativas regionales para la eficiencia energética residencial
- Programa Energy Star para nuevos residencias

La iniciativa EcoEnergía para Retrofit cuenta con $220 millones para los próximos cuatro años destinados a mejorar la eficiencia energética en hogares, pequeños negocios, instituciones públicas e instalaciones industriales. Se estima que en los próximos 3 años esta medida reduzca 1 Mt. La iniciativa EcoEnergía para la Industria cuenta con $18 millones de dólares para los próximos cuatro años y su objetivo es difundir información sobre nuevas tecnologías y mejores prácticas para en el uso de energía, así como, para capacitación de gerentes de energía que les permita implementar proyectos de ahorro de energía. Se estima que en los próximos 3 años esta medida reduzca 0.40 Mt. Finalmente la iniciativa EcoEnergía para el programa de Captura y Almacenamiento Geológico de Carbono en Alberta tiene por objeto evaluar los retos económicos, técnicos y regulatorios asociados a la implementación de la tecnología. Para ello se constituyó un Grupo de Trabajo para asesorar al gobierno de Canadá y al gobierno de la provincia de Alberta sobre la mejor forma de implementar a gran escala esta tecnología.

II.4.3.2 Iniciativa ecotransporte

La iniciativa de EcoTransporte tiene varios componentes incluyendo las siguientes:

a) Programa de reembolso ecoAuto
b) Iniciativa de ecoEnergía para vehículos personales
c) Iniciativa de ecoMobilidad
d) Programa de deschatarrización de vehículos
e) Programa de ecoTecnología para vehículos
f) Programa de ecoTecnología para flotillas
g) Programa para ecoFletes
h) Programa para energía marítima
i) Programa de transporte urbano

El Programa de reembolso ecoAuto cuenta con $160 millones para invertir durante los próximos dos años. El programa puede otorgar hasta $2000 dólares canadienses para la compra de vehículos nuevos con alta eficiencia de combustible. En adición, se introdujo

Folio No. 00120

un impuesto de entre $1000 y $4000 dólares canadienses a vehículos ineficientes. Se espera que la medida reduzca en los próximos años entre 0.20 y 0.25 millones de toneladas. El programa de vehículos personales cuenta con $21 millones para los próximos cuatro años con el fin de suministrar información para los consumidores sobre el consumo de combustibles de los diferentes modelos; incluye la elaboración de guías de información, programa de etiquetado, prácticas de mantenimiento y de manejo. Incluye asimismo un memorándum de entendimiento entre la industria automotriz canadiense y el gobierno de Canadá en esta materia. Se estima una reducción de emisiones asociada a este programa de 0.1 Mt.

La iniciativa de EcoMovilidad cuenta con $10 millones durante los próximos cuatro años para trabajar con los municipios en programas de transporte sustentable incluyendo transporte público, programas para compartir el automóvil y opciones alternas de transporte. Se estima que este programa reduzca alrededor de 1.6 Mt por año. Por su parte el programa de deschatarrización de la flota vehicular cuenta con $36 millones de dólares canadienses con el fin de eliminar el uso de vehículos viejos en Canadá al 100%, para el 2010. Se espera que este programa contribuya con 0.025 Mt.

El programa de EcoTecnología para vehículos cuenta con $15 millones de dólares canadienses para probar estándares de seguridad y ambientales en las tecnologías emergentes para vehículos ligeros en el contexto de Canadá. Asimismo, el programa busca lanzar una campaña para que el público conozca estas tecnologías avanzadas a través de exhibiciones de estos autos en Canadá y colabora con la industria automotriz para remover las barreras de mercado de estas tecnologías. Se estima que esta medida reduzca 0.9 Mt. La iniciativa de EcoEnergía para flotillas cuenta con $22 millones para los próximos cuatro años para reducir el uso de combustibles a través de medidas tanto con los operadores de flotillas como con los gerentes responsables en las áreas comerciales e institucionales. Se estima una reducción de 0.50 Mt asociadas a este programa.

El programa de EcoFlete cuenta con $33 millones para los próximos cuatro años destinados a probar nuevas tecnologías para la industria de la transportación de mercancías así como remover las barreras financieras que actualmente existen para su adopción. La iniciativa incluye el Programa de Armonización de la Industria de los Camiones, el Fondo para la Demostración de Tecnologías para el Flete, Incentivos para adoptar tecnologías de flete y la Asociación para EcoFlete. Se estima que la medida reducirá 1.2 Mt al año. El Programa para energía marítima invertirá en los próximos años $6 millones con el fin de apoyar cuatro proyectos piloto para instalaciones de recarga de energía para buques en los puertos. La medida reducirá 0.007 Mt por año al 2012. Finalmente el Programa de transporte urbano se implementa con el fin de incentivar a la población a usar más el transporte público; consiste en brindar un deducible de impuestos de 15.5% sobre los pases para el transporte público que se utilice de forma regular. Se espera una reducción de emisiones de 0.22 al año.

II.4.3.3 Estrategia de combustibles renovables

En adición al componente regulatorio, se han creado tres programas para apoyar la producción de biocombustibles y su uso. Se ha establecido un fondo de 1.5 miles de millones de dólares canadienses para los próximos nueve años para incrementar la producción de biocombustibles. La iniciativa de Oportunidades para los Productores de Biocombustibles busca apoyar a los agricultores y la iniciativa de desarrollo tecnológico sustentable incluye incentivos para el sector privado para instalaciones que permitan la

Folio No. 00121

producción a gran escala de combustibles de última generación. Adicionalmente al componente de biocombustibles, la iniciativa EcoAgricultura el gobierno de Canadá ha iniciado un programa para la agricultura sustentable a través de la promoción de prácticas para la producción que permitan reducir la emisión de GEI.

Tabla II.8 Objetivos y programas de mitigación en las provincias de Canadá

Provincia	Programa ambiental
Alberta	Programa: Albertans and Climate Change: Taking Action Meta: 50% de reducción al 2020 considerando los niveles de 1990
British Columbia	Aun no cuenta con programa. El gobierno ha hecho declaraciones respecto al objetivo de mitigación, señalando un 33% de reducción con respecto a los niveles actuales para el 2020. Esta meta sería equivalente a un 10% de reducción con respecto a su nivel de 1990.
Manitoba	Programa: Kyoto and Beyond Meta: 18% de reducción al 2010 con respecto al nivel de 1990 y hasta 23% al 2012. Cabe señalar que este programa está vigente desde el 2002.
New Brunswick	Programa: Climate Change Action Plan Meta: Reducir las emisiones al nivel de 1990 al 2012 y continuar la mitigación para lograr en 2020 un 10% menos de los niveles de 1990.
Newfoundland and Labrador	Aún no cuenta con programa. Las provincias han declarado que el objetivo de mitigación podría ser 1.5 Mt al año.
Northwest Territories	Aún no cuenta con programa Meta: 10% de reducción en el 2011 con respecto al nivel de 2001.
Nova Scotia	Programa: Act Respecting Environmental Goals and Sustainable Prosperity Meta: 10% de reducción en el 2020 con respecto al nivel de 1990.
Ontario	Aún no cuenta con programa Meta: 6% de reducción al 2014 con respecto al nivel de 1990 , 15% en el 2010 y 80% al 2050
Prince Edward Island, Yukon y Nunavut	Sin objetivos de mitigación cuantificables a la fecha.

Folio No. 00122

Provincia	Programa ambiental
Quebec	Programa: Quebec and Climate Change -- A Challenge for the Future Meta: 1.5% de reducción al 2012 con respecto a los niveles de 1990. Quebec ha señalado que implementaría medidas para cumplir el objetivo del Protocolo de Kioto de reducir 6% las emisiones si en adición cuenta con financiamiento federal.
Saskatchewan	Programa: Saskatchewan Energy and Climate Change Plan Meta: reducir 32% respecto al nivel de 2004 en 2020; y reducir 80% al 2050.

Fuente: Centro Mario Molina con base en la información de Environment Canada (2010)

Folio No. 00123

II.5 Unión Europea

Los países de la Unión Europea han avanzado en la legislación del cambio climático a través de las directivas europeas que establecen regulaciones y objetivos para toda la UE, mismos que a su vez son implementados a nivel nacional a través de programas específicos. En abril de 2009 se aprobaron una serie de regulaciones conocida como paquete para energía y cambio climático. El objetivo es reducir las emisiones de la UE en 20% en el año 2020, considerando como año base 1990. En su total incluye seis nuevas normativas en los siguientes temas:

1. Esquema de comercio de emisiones (ETS)
2. Reducción de emisiones en sectores fuera del ETS
3. Estándares para vehículos de pasajeros
4. Marco general para la captura y almacenamiento de carbono
5. Estándares de calidad para los combustibles
6. Promoción de la energía renovable

II.5.1 Esquema de comercio de emisiones[28]

El nuevo Esquema de Comercio de Emisiones (ETS) tiene como objetivo reducir en 21% en 2020 las emisiones de GEI, considerando como año base el 2005. En la primera fase del ETS los permisos se asignaron de forma gratuita, en el 2013 se empezará a subastar los permisos en forma gradual comenzando con un 20% de las emisiones, incrementándose a 70% en 2020 y 100% en 2027. Este nuevo esquema sería la tercera fase del ETS en el que se introducen nuevas directrices para los países, particularmente sobre las formas de asignación de los permisos y los sectores que deberán reducir emisiones.

Un cambio importante se introduce para el sector eléctrico. En el caso de la generación de energía los permisos o bonos de emisión serán subastados, es decir las empresas deberán pagar para poder obtener los bonos. Se estableció una excepción para 10 países los cuales pueden continuar asignando los bonos gratuitamente a los generadores y paulatinamente incrementar la proporción de bonos que serán subastados. Dichos países deben al menos de subastar 30% del total de bonos en 2013 e incrementar a 100% en 2020. La regulación aplica a todas las plantas en operación o en construcción a finales de 2008. El objetivo de este apartado es promover la transición de los países altamente dependientes de los combustibles fósiles o con una conexión insuficiente a la red eléctrica europea. Otra provisión es que los generadores que reciban permisos gratuitamente deben de invertir el valor de mercado de los permisos en tecnologías limpias.

Adicionalmente, esta directiva incluye un “mecanismo de solidaridad” a través del cual se permitió a los países de menor ingreso dentro de la UE una mayor asignación de permisos, 12% más que la parte proporcional de sus emisiones. Se espera que las ganancias adicionales del comercio de dichos permisos coadyuven a estas economías en su transición hacia una economía de bajo carbono. Inicialmente el ETS incluyó al sector de generación de electricidad (generadores mayores a 20 MW usando combustibles fósiles), la industria de la refinación de petróleo, producción de cemento, acero y hierro, vidrio y cerámica, y producción de papel y pulpa. El nuevo esquema amplía el número de sectores sujeto al mercado ETS incluyendo el sector de aviación a partir del 2012, la

[28] ETS por sus siglas en inglés

Folio No. 00124

industria química y de aluminio en 2013. Por el momento, el esquema sólo incluye emisiones de CO_2. Cada uno de los países determinará el destino de los ingresos provenientes de la subasta de permisos. Se estableció que al menos 50% de dicho ingreso debe ser aplicado en la mitigación al cambio climático en la UE o en el extranjero, así como en medidas para mitigar los impactos sociales de la transición hacia una economía de bajo carbono. Asimismo se mantendrá una reserva de 300 millones de permisos para el financiamiento de tecnologías limpias. Se espera financiar doce proyectos de CCS e innovación en renovables.

Finalmente la directiva estableció una cláusula sobre "carbon leakage" en la que prevén medidas para evitar pérdidas de competitividad derivadas de la falta de acuerdos internacionales en el marco de las negociaciones de la Convención Marco de Naciones Unidas. La ley establece el procedimiento para que las industrias apliquen a una asignación gratuita de permisos si se demuestra que las medidas aumentan significativamente sus costos (más de 5% del valor agregado) y que se enfrenta competencia internacional fuera de la UE (medido a través de una intensidad de carbono por encima del 10%) y que no puede transferir dichos costos. Esta cláusula será sujeta de revisión antes de comenzar la tercera fase del ETS en 2013. La ley también establece que si se logran acuerdos ambiciosos a nivel internacional la UE podrá aumentar su meta total de reducción. El nuevo esquema del ETS comenzará a partir del primero de enero de 2013; los países deberán implementar las regulaciones necesarias al interior de cada país a más tardar el 31 de diciembre de 2012.

II.5.2 Reducción de emisiones en sectores fuera del ETS

La UE estableció la directiva conocida como "esfuerzo compartido" en la que, con el fin de lograr una reducción de 20% del total de las emisiones de la UE, se establecen medidas para reducir emisiones en sectores no incluidos en el ETS, tales como los sectores transporte, agrícola y residencial. Se espera que en el agregado estos sectores disminuyan 10% de sus emisiones en 2020. Los países de menor ingreso pueden aumentar solo hasta 20% sus emisiones en este sector y los de mayor ingreso deberán reducir hasta un 20%. Los países que pueden incrementar emisiones son Bulgaria, la República Checa, Estonia, Latvia, Lituania, Hungría, Malta, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovenia, Eslovaquia. Dinamarca e Irlanda por su parte tienen las metas de reducción más estrictas de 20% de reducción. Los países deben de empezar la reducción de emisiones en dichos sectores a partir del 2013. Se estableció un mecanismo a través del cual los países pueden reducir más emisiones y acumularlas para el cumplimiento en periodos subsecuentes o por el contrario cuando los países quedan cortos en su meta de reducción pueden hacer sus reducciones en el año subsecuente hasta en 5% siempre que cumplan su meta total en el 2020. Asimismo los países pueden usar hasta 3% de bonos del MDL para cumplir con este objetivo.

II.5.3 Estándares para vehículos de pasajeros

La UE ha adoptado el primer estándar de CO_2 de carácter obligatorio para automóviles de pasajeros. A partir de 2012, los automóviles deberán de emitir no más de 120 g de CO_2/km. Se espera lograr este objetivo reduciendo a 130 gCO_2 a través de mejoras en la tecnología automotriz y 10 gCO_2/km a través de la instalación de equipos más eficientes tales como los sistemas de aire acondicionado y las llantas. Las empresas automotrices son las responsables del cumplimiento, mismo que se ha establecido en tres etapas. En

Folio No. 00125

2012, 65% de la flota vehicular debe cumplir este estándar, en 2013 75%, en 2014 80% y a partir del 2015 la totalidad de los vehículos. Como parte de la regulación se establece una penalización para las industrias que no cumplan el estándar. De 2012 a 2018 deberán pagar 5 euros/unidad por el primer gramo arriba del estándar. Por el segundo gramo deben de pagar 15 euros/unidad y 95 euros/unidad por los gramos en exceso a partir del tercero. A partir del 2019, se establecerá una penalización de 95 euros por cada gramo en exceso al estándar. A su vez, las empresas que innoven los modelos y disminuyan sus emisiones con equipos o procesos no considerados en el método de prueba podrán descontar de su meta hasta 7 gCO_2.

II.5.4 Marco general para la captura y almacenamiento de carbono

La directiva establece criterios para la evaluación de los sitios, para el procedimiento de autorización y para el cierre del sitio. Establece como requisito un permiso expedido por autoridad competente y prueba de que no habrá fugas significativas; los permisos serán revisados transcurridos los primeros cinco años y cada 10 años a partir del segundo periodo. Para la obtención del permiso debe de entregarse un plan detallado de monitoreo, tanto en la construcción como en la operación, así como medidas correctivas en caso de fugas. En adición, se requiere de un plan provisional para el cierre del sitio, mismo que deberá ser actualizado conforme se cuente con información. La inspección y reporte de los sitios deberá de realizarse cuando menos una vez al año. Después del cierre del sitio, la responsabilidad puede transferirse a autoridad competente una vez que se brinde evidencia de que el CO_2 será contenido total y permanentemente, generalmente después de no menos de 20 años. La autoridad deberá continuar realizando el monitoreo para detectar irregularidades y fugas. En adición, se llama a los países a facilitar el acceso a las redes de transporte y de almacenamiento, a menos que no sea posible por aspectos técnicos o de capacidad. Esta directiva será revisada en el 2015, al mismo tiempo que se revisarán los estándares para la promoción del CCS. La regulación debe ser implementada en dos años a partir de su publicación.

II.5.5 Estándares de calidad para los combustibles

Como parte del paquete de cambio climático se modificó una directiva previa de la UE en materia de calidad de combustibles, con el objetivo de reducir la emisión de GEI, facilitar la mezcla de biocombustibles en la gasolina y el diesel y establecer criterios de sustentabilidad para los biocombustibles. Esta directiva establece una meta de reducción de 6% de GEI para el 2020 provenientes de la oferta de combustibles considerando un enfoque de ciclo de vida. Esta meta puede lograrse a través de aumentar el uso de biocombustibles y mejorando la tecnología usada en las refinerías. Se establece que en 2011 la gasolina puede tener hasta 10% de etanol y debe haber disponibilidad de combustible con mezcla de 5% de etanol hasta el 2013 para evitar daños a vehículos viejos con la posibilidad para los países de extender dicho periodo. Adicionalmente, los países pueden establecer una reducción mayor proveniente de los proveedores de combustibles hasta en 4%, a través de su apoyo a tecnologías limpias y/o a través de la obtención de bonos de carbono provenientes del MDL. Esta directiva también establece límites para el contenido de azufre y de metales en los aditivos, así como la presión de vapor. La ley en materia de biocombustibles entra en vigor en 2011.

Folio No. 00126

II.5.6 Promoción de la energía renovable

Esta ley establece como meta el contar con 20% del consumo final de energía proveniente de energías renovables y con 10% del consumo de energía para el transporte proveniente de energía renovable en cada país miembro. La directiva establece metas diferenciadas por país considerando su situación actual por lo que hace al primer indicador y una meta generalizada de 10% en cada país para el indicador de consumo del sector transporte. La directiva establece criterios de sustentabilidad para los biocombustibles para asegurar que puedan ser considerados como energía renovable considerando aspectos de biodiversidad, equilibrio de los ecosistemas y emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, la directiva establece reglas para las transferencias entre países, para los proyectos conjuntos entre países miembros de la unión y con terceros países, garantías de origen, procedimientos administrativos, y acceso a la red eléctrica de la energía renovable. Los países miembro deben de diseñar Planes de acción nacionales para la energía renovable estableciendo metas para la contribución de renovables en los sectores de transporte, electricidad, sistemas de calefacción y enfriamiento para el 2020. Se estableció como meta para notificar a la comisión de dichos planes el mes de junio de 2010.

II.5.7 Directrices y Programas para aumentar la sustentabilidad del sector energía

II.5.7.1 Programa estratégico de tecnologías energéticas: hacia un futuro de bajo carbono

El plan conocido como SET-Plan fue promulgado en 2007 por el Consejo Europeo con el fin de acelerar la innovación tecnológica necesaria para que Europa logre la transición energética con tecnologías de bajo carbono. El plan contiene dos líneas de acción:

1. Reforzar la investigación para reducir los costos y mejorar el desempeño de las tecnologías.

2. Medidas de apoyo para crear oportunidades de negocio, estimular el desarrollo mercado y remover barreras no tecnológicas.

Con el fin de avanzar sobre estas dos líneas de acción, el SET-Plan trabaja sobre 4 resultados objetivo:

1. Un plan integral de planeación. Para realizar esta planeación estratégica se ha creado un Grupo de Tecnologías Estratégicas Energéticas y un Sistema de gestión de la información y el conocimiento de acceso abierto

2. Una implementación más efectiva, a través de desarrollar el potencial de la intervención pública, de la industria y los centros de investigación

- Establecer nuevas iniciativas industriales en materia de energía eólica, bioenergía, CCS, redes eléctricas inteligentes y fisión nuclear sustentable.
- Crear la alianza europea para la investigación energética.
- Iniciar la red de infraestructura europea y la planeación para la transición de sistemas.

3. Un incremento en el financiamiento y la inversión en capital humano.

Folio No. 00127

4. Una estrategia de cooperación internacional con una posición europea conjunta en los foros de negociación.

II.5.7.2 Directiva para la eficiencia energética de usos finales y los servicios de energía

La Directiva establece objetivos, mecanismos, incentivos y marcos institucionales, financieros y legales para remover las barreras de mercado existentes y fallas de mercado que evitan catalizar el potencial en el ahorro de energía. Los estados miembros han trabajado ya sobre esta directiva que fue promulgada en el 2006 y han elaborado planes nacionales de implementación. Como parte de esta directiva la UE desarrollará indicadores armonizados de eficiencia energética y benchmarks para evaluar el avance de los países, considerando la información suministrada por los propios países sobre las prácticas actuales. El objetivo de la Directiva es que los países miembro logren un objetivo de reducción de 9% en nueve años, a través de servicios de energía y medidas para mejorar la eficiencia energética. Un componente importante es la recomendación a los gobiernos de iniciar con programas para aumentar la eficiencia energética y el ahorro de energía en los edificios y servicios públicos.

Tres de los componentes principales de esta iniciativa son los siguientes:

a) Los gobiernos pueden establecer obligaciones de eficiencia a los sectores eléctricos y de gas.
b) Se deben crear condiciones para el desarrollo del mercado de los servicios energéticos.
c) Se debe requerir mejoras en los medidores y en la facturación.

La eficiencia energética es evidentemente uno de los pilares dentro de la política europea para el cambio climático. Se espera aumentar en 20% la eficiencia de la UE al 2020 con respecto al escenario de línea base. Esto es equivalente a un ahorro real de 1.5% de ahorros en energía por año hasta el 2020. Es decir, si este programa tiene éxito la UE consumiría 13% menos energía, lo que implicaría ahorros por 100 billones de euros y del orden de 780 millones de toneladas de CO_2 al año, alrededor de 20% de las emisiones actuales. Algunas de las medidas tomadas incluyen el Acuerdo de Cooperación con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos sobre el programa *Energy Star*.. Como parte de los esfuerzos de la UE se ha establecido El Fondo Global para la Eficiencia Energética y la Energía Renovable, cuyo fin es acelerar la transferencia, desarrollo y comercialización de tecnología ambiental e incrementar la oferta energética en las regiones de mayor pobreza en el mundo. Este mecanismo se describirá en el entregable sobre instrumentos económicos.

II.5.7.3 Regulación sobre hfcs, pfcs y SF_6

El parlamento europeo aprobó en el 2006 la regulación de tres gases incluidos en el Protocolo de Kioto, los hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluorido de azufre (SF_6). El uso de SF_6 en el proceso del manganeso fue prohibido, así como el uso de los gases fluorados en la tecnología de aire para tenis para correr, lo sistemas nuevos de protección contra incendio y en los “self-chilling” bebidas enlatadas. El uso de los gases fluorados en la manufactura de ventanas y llantas para vehículos fue prohibido a partir del 2011. El uso de dichos gases en sistemas de aire acondicionado

Folio No. 00128

para vehículos entrará en un programa de sustitución (phase-out). Adicionalmente, esta normativa establece como obligatorio el marcado de los productos que contienen HFCs y PFCs para indicar el nombre químico y la cantidad contenida. Las instalaciones mayores serán monitoreadas para con el fin de evitar fugas accidentales de emisiones. A pesar de que los gases a que se refiere este apartado contribuyeron únicamente con 2% del total de emisiones de la UE en 2006 su persistencia en la atmósfera es muy alto por lo que su potencial de calentamiento es alto.

II.5.7.4 Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Los Programas Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico integran las iniciativas de la UE que se relacionan con el tema de energía e investigación tecnológica. El programa 7 (FP7 por sus siglas en inglés) ha asignado 2.35 miles de millones de euros a investigación en las siguientes áreas:

- Celdas de hidrógeno y de combustible.
- Generación de energía renovable.
- Producción de combustible renovable.
- Renovables para calefacción y aire acondicionad
- Captura y almacenamiento de carbón y generación de electricidad de cero emisión.
- Tecnologías de carbón limpio.
- Redes de energía inteligente.
- Eficiencia energética y ahorro de energía.
- Conocimiento para el diseño de la política energética.

II.5.7.5 Plataformas tecnológicas europeas[29]

Las plataformas tecnológicas europeas son una iniciativa del sector industrial que busca una coordinación de los actores más relevantes en un nicho tecnológico con el objeto de desarrollar programas de investigación y desarrollo. La Comisión Europea brinda apoyo a aquellas iniciativas que resulten estratégicas desde el punto de vista de los objetivos de desarrollo de la UE. En su caso, las iniciativas reciben apoyos a través de los fondos de investigación que designa la UE en sus Programas Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico[30]. Actualmente existen plataformas tecnológicas en el área de energía fotovoltaica, redes eléctricas inteligentes, celdas de hidrógeno y de combustible, biocombustibles y carbón limpio. A continuación se describen las plataformas más relevantes en el tema de producción de energía limpia.

Plataforma Tecnológica de Energía Solar Térmica

La iniciativa de la plataforma tecnológica para la energía solar térmica inició en el 2006 con la Federación Europea de Energía Solar Térmica (FEEST) como principal promotor con el objetivo de facilitar la investigación y desarrollo de la energía solar térmica para la generación de electricidad. La FEEST es una organización que agrupa a diversas asociaciones que promueven la energía solar contando con más de 700 miembros en

[29] European Technology Platforms (ETP)
[30] Framework Programme For Research And Technological Development (FP7)

Europa. La UE decidió brindar apoyo a esta iniciativa desde su Programa Marco FP6 con el objetivo de apoyar el desarrollo del mercado de energía solar.

Plataforma Tecnológica para la Energía Eólica

La iniciativa de la plataforma tecnológica para la energía eólica inició en el 2006 con el objetivo de catalizar la innovación, aumentar la investigación y desarrollar mercados para la energía eólica. La meta inicial que planteó el programa de investigación es la reducción de costos de la tecnología considerando costos sociales, ambientales y tecnológicos. Se busca que la plataforma brinde recomendaciones para el sector privado y para la inversión pública en investigación y desarrollo en esta tecnología que se incluyan en el FP7.

Plataforma Tecnológica para la Energía Fotovoltaica

La iniciativa de la plataforma tecnológica para la energía fotovoltaica inició en 2005 con el objeto de apoyar el desarrollo de la industria fotovoltaica de clase mundial y costos competitivos. Esta plataforma recibió apoyo de la UE con el fin de que apoye los trabajos de implementación de la Agenda Europea de Investigación Estratégica en las próximas décadas. Cuenta con un Comité, un Secretariado y un Grupo de Programas Nacionales y Cuatro Grupos de Trabajo.

El Grupo de Trabajo sobre políticas e instrumentos lleva a cabo investigación y desarrolla metodologías para identificar y remover barreras de los sistemas de instalación de FV. Entre sus tareas se encuentra la recolección de datos, encuestas, y elaboración de modelos para el cálculo de tarifas *feed-in*. El Grupo de Trabajo de desarrollo de mercado busca remover barreras a través de programas educativos, identificación de canales de promoción de FV y atención de problemas de percepción. Un componente importante es la conformación de un sector profesional que pueda promover la energía FV en la industria de la construcción. El grupo de ciencia, tecnología y aplicaciones tiene el objetivo de desarrollar el componente del sector para el programa FP7 con el objetivo de facilitar la aplicación a gran escala. Finalmente el grupo de trabajo dedicado a los países en desarrollo busca desarrollar una estrategia de largo plazo para impulsar el uso de FV en dichos países con el objetivo de contribuir al desarrollo sustentable y los programas de combate a la pobreza a través de favorecer el acceso a la electricidad. El grupo realiza acciones de promoción, apoya proyectos en países en desarrollo para favorecer el desarrollo de infraestructura local que permitan aumentar la factibilidad de los proyectos.

Plataforma Tecnológica para plantas de generación a base de combustibles fósiles de cero emisiones

La iniciativa tiene como prioridad la investigación y desarrollo de la tecnología de captura y almacenamiento de carbono y ha sido un componente relevante de los programas de investigación financiado con fondos europeos desde el FP6 y en el FP7 con una asignación de más de 70 millones de euros. La plataforma cuenta con la participación de compañías eléctricas, proveedores de equipo, usuarios, consumidores, instituciones financieras, entidades reguladoras, autoridades públicas, investigadores y organizaciones no gubernamentales con el objetivo de lograr una estrategia de largo plazo al 2050 en la que las plantas de generación a base de combustibles fósiles tengan emisiones cero. Se

Folio No. 00130

espera que el primer proyecto piloto inicie en 2020.

Plataforma Tecnológica para Biocombustibles

Esta plataforma inició en el 2006 con el objeto de cubrir aspectos técnicos y barreras no técnicas del uso de biocombustibles. Se espera que la iniciativa contribuya a desarrollar tecnologías de biocombustibles de clase mundial competitivas en costo que permita la creación de una industria europea de biocombustibles identificando claramente las necesidades de investigación.

II.5.7.6 Iniciativa Conjunta de Tecnología para el Cielo Limpio

Su objetivo es estimular la investigación, desarrollo y comercialización de tecnologías para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector aviación con fondos conjuntos entre la UE (aproximadamente el 50% del financiamiento) y las empresas EADS, SAFRAN, and SAAB AB.

II.5.7.7 Directiva para la promoción de la Cogeneración

La Directiva no establece metas sobre cogeneración pero recomienda a los países analizar el potencial de cogeneración de alta eficiencia y elaborar un reporte para la Comisión con el fin de que se integren las estadísticas necesarias en la UE para promover la cogeneración. Asimismo, se pide a los países reportar las medidas que se tomen a nivel nacional para aprovechar el potencial identificado. La UE ha realizado estudios y desarrollo de metodologías que puedan servir para analizar el potencial de los países mismos que pueden consultarse en los anexos de esta Directiva.

Con el fin de remover las barreras de mercado, se establecieron tres criterios en la Directiva:

- Garantizar que la electricidad generada por cogeneración sea transmitida y distribuida con criterios objetivos, transparentes y no discriminatorios.
- Facilitar el acceso a la red eléctrica de las unidades de cogeneración que usen energías renovables y de unidades de capacidad menor a 1 MW.
- Asegurar que se expidan garantías de origen de cogeneración por entidades competentes.

La Directiva también establece definiciones claras de cogeneración y cogeneración de alta eficiencia. Esta última se define como aquella que permite al menos un ahorro de energía de 10% en comparación con la producción separada.

II.5.7.8 Directiva para el requerimiento de diseño ecológico de productos que requieren energía

Esta Directiva tiene el objeto de establecer reglas homogéneas para el mercado europeo que permitan consideraciones ambientales en el diseño de los dispositivos tales como aparatos eléctricos y equipos de calefacción. Si bien no establece normas vinculantes para productos específicos si define condiciones y criterios que los países deben observar, particularmente en las especificaciones de consumo de energía. Se espera que

esta Directiva tenga un efecto positivo en el comercio, al facilitar la movilidad de productos con diseños ecológicos de calidad. Sin lugar a duda, esta Directiva es ambiciosa pues permitiría a las empresas manufactureras considerar los impactos ambientales de los productos considerando un enfoque de ciclo de vida que mejore el desempeño ambiental de la industria europea dándole una ventaja competitiva.

Tabla II.9 Normatividad en materia de cambio climático, energía y medio ambiente

ALEMANIA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Programa integral de cambio climático y energía	Políticas marco	Cambio Climático	2007
Acción conjunta norteamericana-alemana en energía más limpia y más eficiente, desarrollo y cambio climático	Acuerdo internacional	Cambio Climático	2005
Registro de emisiones	Políticas marco	Cambio Climático	2005
Acuerdos de para proyectos piloto regionales sobre mecanismos flexibles	Políticas marco	Cambio Climático	2003
Programa nacional de protección climática	Políticas marco	Cambio Climático	2000
Alemania-Brasil Colaboración en carros que funcionan con etanol	Acuerdo internacional	Biocombustibles	2004
Campaña de eficiencia energética de DENA (Deutshe Energie-Agentur GmbH)	Eficiencia energética	Electricidad	2002
Fundación del centro de desarrollo de energía solar	Generación de energía	Energía renovable	2006
Decreto de fuentes de energía renovable	Generación de energía	Energía renovable	2004 (modificado en 2006 y 2008)
Cooperación Dinamarca-Alemania en acompañamiento para investigación ambiental en desarrollo de energía eólica	Acuerdo internacional	Energía renovable	2004
Iniciativa para exportación de tecnologías renovables	Generación de energía	Energía renovable	2002
Programa de 100 000 techos con energía sol	Generación de energía	Energía renovable	1999
Programa de iniciativa de mercado para la promoción de la energía renovable	Generación de energía	Energía renovable	1999

Folio No. 00132

ALEMANIA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Energía verde	Generación de energía	Energía renovable	1996
Programa "Solarthermie 2000"	Generación de energía	Energía renovable	1993
50 programa de investigación energética	Políticas marco	Planeación energética	2005
Planificación de Recursos Empresariales (ERP)- Programa de Medio Ambiente y Ahorro de energía	Políticas marco	Planeación energética	1990

FRANCIA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Plan Climático 2004	Políticas marco	Cambio Climático	2004
Acuerdo sobre emisiones de gases de efecto invernadero de la industria de la aviación		Cambio Climático	2008
Manual de desarrollo sostenible: préstamos preferenciales para medidas de ahorro energético	Políticas marco	Electricidad	2007
Adopción de la Directiva Europea para la promoción de la cogeneración	Generación de energía	Electricidad	2004
Medidas para favorecer la cogeneración	Políticas marco	Electricidad	2001
Programa de eficiencia energética	Políticas marco	Electricidad	2000
Exoneración del impuesto interno en combustible fósil para la cogeneración de facilidades	Producción de energía	Electricidad	2000
Plan de reactivación de hidroeléctrica	Generación de energía	Energía renovable	2009
Fondo de demostración para nuevas tecnologías energéticas	Generación de energía	Energía renovable	2008
Tarifas incentivas para energía renovable : Hidroeléctrica (IV)	Electricidad	Energía renovable	2007

Folio No. 00133

FRANCIA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Sistema de impuestos favorables a biocombustibles	Políticas marco	Energía renovable	2005
Expansión de Incentivos fiscales para energía eólica	Generación de energía	Energía renovable	2005
Iniciativa de biocombustibles	Generación de energía	Energía renovable	2004
Fondo de inversión para la administración de la energía y medio ambiente	Generación de energía	Energía renovable	2002
Incentivos fiscales para energía renovable	Generación de energía	Energía renovable	2002
Crédito gubernamental y garantías para la inversión en eficiencia energética y energía renovable (FOGIME)	Políticas marco	Energía renovable	2001
Desarrollo de mercado de energías renovables (apoyo a la demostración y difusión)	Políticas marco	Energía renovable	1999
Programa de biogás	Producción de energía	Energía renovable	1999
Programa de energía eólica	Electricidad	Energía renovable	1996
Desarrollo multilateral de Plantas de energía nuclear generación IV	Producción de energía	Nuclear	1999
Ley de presupuesto 2009: disposiciones sobre la energía sostenible	Generación de energía	Planeación Energética	2009
Plan para la eficiencia energética de las explotaciones agrícolas	Generación de energía	Planeación Energética	2009
Plan de acción nacional sobre eficiencia de la energía		Planeación Energética	2008
Estrategia nacional sobre investigación y desarrollo en el campo de la energía		Planeación Energética	2007
Programa de investigación y desarrollo de nueva tecnología energética	Políticas marco	Planeación energética	2005
Marco de ley en energía	Políticas marco	Planeación Energética	2005

Folio No. 00134

FRANCIA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Campaña pública nacional de eficiencia energética	Políticas marco	Planeación Energética	2004

REINO UNIDO			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Ley de cambio climático	Multisectorial	Cambio Climático	2008
PAS 2050: Especificación para el análisis de ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de bienes y servicios	Multisectorial	Cambio Climático	2008
Programa de cambio climático 2006	Multisectorial	Cambio Climático	2006
Ley de cambio climático y energía sostenible	Generación de energía	Cambio Climático	2006
Ciudad cero carbono	Zonas urbanas	Cambio climático	2005
Exención de pago de la tasa del cambio climático para empresas de alto consumo energético en virtud de los acuerdo sobre cambio climático	Políticas marco	Cambio Climático	2004
Asociación metano a los mercados del Reino Unido	Políticas marco	Cambio Climático	2004
Esquema de comercio de emisiones	Políticas marco	Cambio Climático	2002
Régimen de comercio de derechos de emisiones en el Reino Unido	Políticas marco	Cambio Climático	2002
Fondo de Carbono – The Carbon Trust	Políticas marco	Cambio Climático	2001
Tasa del cambio climático – CCL	Políticas marco	Cambio Climático	2001
Estrategia de electricidad y calor combinado para el 2010	Generación de energía	Electricidad	2004

Folio No. 00135

REINO UNIDO			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Plan de infraestructura para Bio-energía	Generación de energía	Biocombustibles	2004
Régimenes tributarios preferenciales para biocombustibles	Generación de energía	Biocombustibles	2002 (modificado 2005, 2008)
Financiamiento para el uso del sauce como fuente de energía renovable	Generación de energía	Energía renovable	2004
Programa de subsidios para energía maremotríz	Generación de energía	Energía renovable	2004
Fondo de energía renovable para hogares y pequeñas comunidades – Cielo limpio	Generación de energía	Energía renovable	2003
Crédito para la exportación tecnológica de energías renovables	Generación de energía	Energía renovable	2002
Programa de subsidios para energía solar fotovoltaica	Generación de energía	Energía renovable	2002
Plan de subsidios al capital para energía eólica terrestre	Generación de energía	Energía renovable	2002
Programa de edificios bajos en carbono	Generación de energía	Energía renovable	2006
Estrategia de micro generación	Generación de energía	Energía renovable	2006
Plan de cultivos energéticos en Inglaterra	Generación de energía Producción de energía	Energía renovable	2000
Estrategia tecnológica para reducir las emisiones de carbono	Generación de energía	Energía renovable	2005
Meta del 10% de energía renovable – Certificados verdes	Producción de energía	Energía renovable	1999
Plan de objetivos obligatorios para las energías renovables		Energía renovable	2002 (última modificación 2009)
Plan de subsidios al capital para Bio-energía	Generación de energía	Energía renovables	2002

Folio No. 00136

REINO UNIDO			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Proyecto de demostración de fotovoltaicas a gran escala	Generación de energía	Energía renovables	2002
Plan de acción para la eficiencia energética	Políticas marco	Planeación energética	2004
Incentivos fiscales a la inversión (ECA) – Lista de tecnología energética	Políticas marco	Planeación energética	2001
Investigación y desarrollo de programas de energías nuevas y renovables para el Ministerios de comercio e industria (DTI)	Generación de energía	Planeación energética	2002
Ley de planificación y energía 2008	Generación de energía	Planeación energética	2008
Ley de energía 2008		Planeación energética	2008
Plan de acción de eficiencia energética		Planeación energética	2007

Fuente: (AIE, 2010)

Folio No. 00137

II.6 Japón

Desde la crisis petrolera de la década de los 70's, Japón ha desarrollado diversas medidas para la mejora de eficiencia en el uso y producción de energía, con el objetivo de modificar las estructuras de demanda y oferta de energía, así como reducir la dependencia de los combustibles fósiles. En 2006, Japón fue el país con mayor eficiencia energética (METI, 2006). Sin embargo, el 90% de las emisiones de CO_2 son originadas por el sector energético (ECCJ, 2007)[31]. Ante este escenario, Japón ha formulado varias acciones en materia de cambio climático, caracterizadas por la colaboración entre el sector público y privado, así como medidas voluntarias.

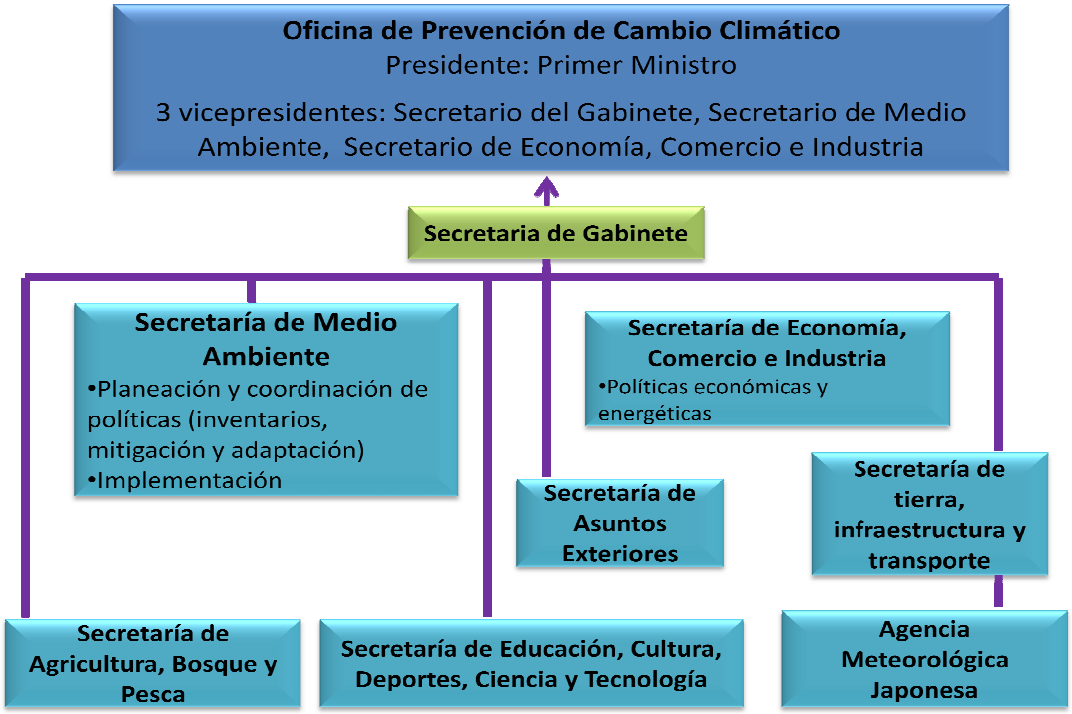
En 1997 se firmó el Protocolo de Kioto y Japón se comprometió a reducir en 6% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto de los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012. Sin embargo, los esfuerzos de Japón en materia de cambio climático se presentaron desde 1990, año en el que se creó el Plan de Acción de Prevención del Cambio Climático, cuyo objetivo era estabilizar las emisiones de CO_2 *per cápita* a niveles de 1990 para el año 2000. En 1998, Japón promulgó la Ley de Promoción de Medidas en contra del Cambio Climático[32] (Tamura, 2008) donde se establecían las acciones para el gobierno nacional y local, industria y población en general. En la ley está definido el Plan de Acción para Lograr la Meta del Protocolo de Kioto[33] que especifica las metas de emisiones para cada sector con el objetivo de lograr la reducción del 6%.

El gobierno creó en 1997 la Oficina de Prevención de Cambio Climático[34] con el propósito de aplicar y coordinar las medidas para la prevención del cambio climático. Sus funciones principales son la preparación y ejecución de las medidas del Plan de Acción para Lograr la Meta del Protocolo de Kioto y la coordinación general relacionada con la implementación de las medidas de cambio climático de largo plazo. En la Figura II.10 se muestra la organización gubernamental en materia de cambio climático. En 2009 en el marco de la COP 15, Japón presentó una nueva meta de reducción de emisiones como medida post- Kioto. La meta es reducir 20% de las emisiones de GEI respecto a los niveles de 1990 para el año 2020. Actualmente se están discutiendo las políticas y medidas necesarias para alcanzar esta meta. A continuación se presenta una revisión sobre la normatividad vigente en materia de cambio climático en Japón.

[31] Energy Conservation Policy & Measures in Japan (2007), http://www.eccj.or.jp/summary/local0703/eng/index.html
[32] La ley se promulgó bajo el nombre de "Law Concerning the Promotion of the Measures to Cope with Global Warming". Se sometió a revisión en 2002 y 2005, y se modificó a "Act on Promotion of Global Warming Countermeasures", como actualmente es conocida.
[33] Kyoto Protocol Target Achievement Plan
[34] Global Warming Prevention Headquarters

Folio No. 00138

Figura II.10 Organización gubernamental para política de cambio climático en Japón



Fuente: (Takiguchi, H., 2005)

II.6.1 Ley de Promoción de Medidas en contra del Cambio Climático[35]

La "Ley de Promoción de Medidas en contra del Cambio Climático" se promulgó en octubre de 1998, también conocida como la Ley de Política de Cambio Climático[36] (Tamura, 2008). Es la base legal de las acciones impulsadas por el gobierno japonés para el control de los GEI con el objeto de lograr las metas establecidas bajo el Protocolo de Kioto. Se busca que la ley logre una vinculación entre los niveles de gobierno nacional, local, así como con las industrias y la ciudadanía. Se elabora un reporte anual de las emisiones de GEI y sumideros por parte del gobierno nacional, la formación de programas de control de GEI, el Plan de Acción Nacional del Gobierno y planes de acción de los gobiernos locales, así como el establecimiento de Centro para las Acciones de Cambio Climático de Japón[37] (JCCCA). El objetivo del Centro es dar información y asistencia a los ciudadanos japoneses para promover actividades que contribuyan al combate del calentamiento global (JCCCA, 2009). Su principal actividad consiste en la construcción y mantenimiento de una base de datos sobre calentamiento global y cambio climático. También realiza investigación sobre tecnologías aplicables al ámbito público y privado que ayudan a prevenir el calentamiento global; difusión de información sobre estilo de vida

[35] Act on Promotion of Global Warming Countermeasures
[36] Climate Change Policy Law
[37] Japan Center for Climate Change Actions

Folio No. 00139

amigable con el medio ambiente; y actividades relacionadas con la educación y publicidad del tema.

II.6.2 Plan de Acción para Lograr el Objetivo del Protocolo de Kioto[38]

En el Plan de Acción para Lograr el objetivo de Protocolo de Kioto se detallan las medidas y políticas nacionales a nivel sectorial para lograr el compromiso de reducción del 6% acordado en el Protocolo de Kioto. A la entrada en vigor del Protocolo de Kioto en 2005, el Plan se aprobó y sustituyó a los Lineamientos de Medidas para Prevenir el Calentamiento Global (Ogawa, 2008).

El Plan tiene dos objetivos principales. El primero es cumplir el compromiso acordado en el Protocolo de Kioto; y el segundo buscar que las medidas impliquen una reducción continua y de largo plazo. Los conceptos básicos son la protección al ambiente con desarrollo económico; innovación tecnológica y la creación de una sociedad baja en carbono; utilización de varias políticas y medidas; participación y colaboración de todos los sectores basado en la transparencia de información; revisión y evaluación de cada proceso; y cooperación internacional. Una característica es la revisión anual en el progreso de las distintas medidas y políticas implementadas, así como los reportes de emisiones con un enfoque “paso a paso”. En 2008 el Plan fue revisado y se establecieron las nuevas metas de reducción para los diferentes tipos de GEI. Las metas de reducción para cada uno de los gases se presentan a detalle en la Tabla II.10. Para los sumideros el objetivo es disminuir 47.67 $MtCO_2$, que representa el 3.8% de reducción respecto a las emisiones de 1990. También se contempla y promueve el uso de los mecanismos de Kioto, siempre y cuando se use como un instrumento complementario a las medidas domésticas. Es decir, se obtendrán certificados de emisión de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), proyecto de Implementación Conjunta (JI), y de países desarrollados.

[38] Kyoto Protocol Target Achievement Plan

Tabla II.10 Objetivos de reducción por gas del Plan de Acción para Lograr el Objetivo del Protocolo de Kioto

			Año base de emisiones (10^4 tCO_2)	Emisiones de CO_2, 2005 (10^4 tCO_2)	Comparación con año base (%)	Meta de emisiones a 2010 (10^4 tCO_2)	Meta de reducción respecto año base (%)
Emisiones de GEI			1261	1359	7.7	1239-1252	1.8-0.8
	CO_2 por energía		1059	1201	11.3	1076-1089	1.3+2.3
		Sector Industrial	482	452	6.1	424-428	12.1-11.3
		Sector Comercial	164	239	45.4	208-210	26.5-27.9
		Sector Residencial	127	174	36.4	138-141	8.5-10.9
		Sector Transporte	217	257	18.1	240-243	10.3-11.9
		Sector de transformación Energética	68	79	16.5	66	2.3
	CO_2 no energético		85	91	0.4	85	0.04
	CH_4		33	24	-0.7	23	0.9
	N_2O		33	25	-0.6	25	0.6
	Gases fluorados (HFCs, PFCs, SF_6)		51	18	2.6	31	1.6
Absorción por sumideros forestales							3.8
Mecanismo de Kioto							1.6
Meta de reducciones totales (comparación con el año base)							**Total 7.2-6.2**

Fuente: (IEEJ, 2008)

Folio No. 00141

En 2006, la Secretaría de Medio Ambiente dio a conocer el presupuesto requerido por las secretarias y agencias para llevar a cabo el Plan (Tabla II.11). Las categorías en las que se divide el presupuesto consisten en lo siguiente:

- Medidas relacionadas directamente con la reducción de 6% bajo el Protocolo de Kioto: El presupuesto se destina a la asistencia y apoyo de la implementación de las medidas especificadas en el Plan de Acción para Lograr el Objetivo del Protocolo de Kioto y las necesarias para utilizar el Mecanismo de Kioto.
- Medidas de mediano y largo plazo para la reducción de GEI: Se asigna a aquellas políticas y medidas que serán efectivas Post-Kioto. Incluye el desarrollo tecnológico para la implementación de medidas, así como desarrollo de recursos humanos.
- Otras medidas con potencial de reducción de GEI: Se aplica a medidas cuyo objetivo y resultado no están directamente relacionados con la prevención del cambio climático, como los proyectos de conservación forestal, mejora de los sistemas de transporte público y reducción de emisiones acompañado de incineración de residuos.
- Medidas básicas: Se emplea en la revisión de las políticas y medidas, el cálculo de las emisiones y sumideros, investigación monitoreo y observación del cambio climático y medidas cuyo objetivo es la cooperación internacional.

Tabla II.11 Presupuesto para el Plan de Acción para Lograr el Objetivo del Protocolo de Kioto

TIPO DE MEDIDA	PRESUPUESTO (billones de yenes)
Medidas directamente relacionadas con la reducción del 6% bajo el Protocolo de Kioto	453.7
Medidas de mediano y largo plazo para la reducción de GEI	120.9
Otras medidas con potencial de reducción de GEI	338.2
Medidas básicas, etc.	32.9

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente de japón, 2006)

Para la aplicación de las normas en el Plan se toma en cuenta 5 sectores: industrial, comercial y otros, residencial, transporte, y transformación de energía. En la Tabla II.12 se pueden observar las medidas generales por sector.

Folio No. 00142

Tabla II.12 Medidas para la reducción de emisiones por sector

Sector	Medidas
Sector industrial	• Plan de Acción Voluntaria Keidanren. • Difusión de los dispositivos de eficiencia energética en el campo de la manufactura. • Difusión de equipo de construcción de utilización eficiente de combustible en el campo de la construcción. • Gestión energética en fábricas y oficinas. • Implementación de medidas para la reducción de emisiones para pequeñas y medianas empresas. • Esfuerzos en la industria de agricultura, forestal y pesquera.
Sector comercial y otros[39]	• Iniciativas del gobierno nacional: o Acelerar la introducción de celdas de combustible. o Introducción de energías renovables. o Selección de fuentes de energía que contribuya a la mitigación de CO_2. o Introducción de bombas de calor, sistemas de almacenamiento térmico que contribuyan a la nivelación de carga de energía eléctrica. o Introducción de materiales que retengan agua para su uso en edificios gubernamentales. o Mejora de los sistemas de uso de bicicletas. • Iniciativas de organizaciones públicas. • Ahorro de CO_2 en edificios, equipos y aparatos. • Rigurosa gestión energética, a través de la evaluación de los sistemas de manejo energético con el Sistema Tributario para Promover la Inversión en la reforma de la estructura de oferta y demanda energética[40]. • Mejora de la eficiencia de los dispositivos con base en los estándares del programa Top-runner. • Desarrollo de campañas nacionales.

[39] Edificios para oficinas, comercios, hospitales, escuelas, etc.
[40] Tax System for Promoting Investment in Energy Supply-and-Demand Structure Reform.

Folio No. 00143

Sector	Medidas
Sector residencial	• Ahorro de CO_2 en casas, equipos y aparatos. • Mejora de la eficiencia de los dispositivos con base en los estándares del programa Top-runner • Desarrollo de campañas nacionales.
Sector transporte	• Medidas para el tráfico y automóviles o Norma de Fuel-Economy 2015. o Introducción de Sistemas Inteligentes de Transporte. o Promoción de Sistemas de Control Eco-Drive. o Desarrollo de sistemas de transporte público como el tren ligero y Sistemas Intergrales de Transporte (BRT). o Promoción de Sistemas de variación de Voltaje y Frecuencia. • Promoción de la utilización de transporte público. • Promoción de la sustitución del transporte por tecnología de información y comunicación. • Promoción y reforzamiento de los planes de acción voluntaria. • Mejora de la eficiencia de los sistemas de logística.
Sector de transformación energética	• Promoción y reforzamiento de los planes de acción voluntarios. • Esfuerzos por tipo de energía. • Medidas para energía renovable.

Fuente: (IEEJ, 2008)

Folio No. 00144

A pesar de que se tienen medidas y metas de reducción específicas para cada sector, existen muchas que no aseguran la reducción de emisiones, pues dependen de la voluntad de los ciudadanos para lograrlas. Las emisiones del sector comercial y residencial han aumentado a pesar de la introducción de medidas (Ogawa, 2008). En el sector residencial han aumentado en 30% respecto a niveles de 1990, principalmente por el incremento de consumo energético resultado del incremento en aparatos electrodomésticos.

II.6.3 Plan de Acción Voluntario Keidanren[41]

El Plan de Acción Voluntario Keidanren es una propuesta de la Federación de Negocios de Japón presentada en 1997. El objetivo es que cada industria establezca medidas voluntarias para ayudar al gobierno a cumplir la meta de reducción del 6% de las emisiones. En 2008 estaban registrados 103 grupos y asociaciones empresariales de los sectores de electricidad, químico, petrolero, cemento, entre otros. Cada negocio escoge entre 4 indicadores para fijar su meta de reducción. Los indicadores son: intensidad en consumo energético, consumo energético, intensidad en las emisiones de bióxido de carbono y emisiones de bióxido de carbono. El gobierno busca que los negocios que tienen metas fijadas de acuerdo a un indicador de intensidad adopten aquellos relacionados con las emisiones totales de CO_2.

En el plan no se especifican incentivos económicos para que las empresas logren sus metas establecidas, sin embargo tienen incentivos para cumplirlos (Tamura, 2008). La primera tiene que ver con la imagen pública que proyecta, es decir, cuidan los efectos negativos que tiene el no cooperar. Y la segunda, y más relevante tiene que ver con las consecuencias que tendría el que el gobierno no logre su objetivo de reducción. Si esto sucede, se establecerían medidas obligatorias tales como impuesto al carbón o un sistema “cap and trade”, que afectaría directamente sus beneficios económicos. En la Tabla II.13 se presentan las metas de reducción por industria y las medidas que llevarán a cabo.

[41] Keidanren Voluntary Action Plan

Tabla II.13 Metas y medidas de reducción en el Plan de Acción Voluntario Keidanren

Industria	Meta de reducción	Medidas
Federación de Compañías de Energía Eléctrica en Japón[42] (FEPC)	Reducción de la intensidad en emisiones de CO_2(emisiones por unidad de electricidad de uso final) en promedio 20% ó 0.34kg-CO_2/ kWh para el periodo de 2008 a 2012 en comparación a niveles de 1990	1. Promoción de generación nuclear de energía con base en la seguridad y edificios seguros. 2. Mejora en la eficiencia de generación termoeléctrica, así como discutir la gestión y control de la fuente. 3. Utilización del mecanismo de Kioto. 4. Desarrollo y difusión de energías renovables
Federación de Hierro y Acero de Japón (JISF)[43]	Reducir consumo energético en el proceso de producción en 10% para el 2010 respecto a los niveles de 1990, en el supuesto de que el novel de producción de acero sea de 100 millones de toneladas.	1. Recuperación de pérdida de energía través de tecnologías. 2. Mejora en la eficiencia de instalaciones. 3. Mejora en la operación. 4. Utilización eficiente de los residuos plásticos. 5. Otros.
Asociación de la Industria Química de Japón (JCIA)[44]	Reducir intensidad energética en promedio 80% respecto al nivel de 1990 para el periodo 2008 a 2012.	1. Recuperación de pérdida de energía. 2. Racionalización del proceso. 3. Mejora en la eficiencia de instalaciones y equipo. 4. Mejora en los métodos de operación. 5. Otros.

[42] The Federation of Electric Power Companies of Japan (FEPC)
[43] The Japan Iron and Steel Federation (JISF)
[44] Japan Chemical Industry Association (JCIA)

Folio No. 00146

Industria	Meta de reducción	Medidas
Asociación de Petróleo de Japón (PAJ)[45]	Reducir la intensidad energética de las refinerías en promedio 13% respecto a los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012	1. Mejora de la tecnología de control y optimización de operación 2. Ahorro de energía por integración de calor y recuperación de calor de desecho. 3. Adopción de equipo eficiente y catalizadores. 4. Mejora de eficiencia en instalaciones por mantenimiento
Asociación de papel de Japón[46]	Reducir para el periodo 2008-2012 intensidad energética fósil por producto en promedio 20% y la intensidad en emisiones de CO_2 en promedio 16% respecto a los niveles de 1990. Promover la forestación para ampliar la propiedad de áreas boscosas a 0.7 millones de hectáreas para 2012.	1. Introducción de equipo de ahorro de energía. 2. Introducción de instalaciones de alta eficiencia. 3. Revisión de los procesos de manufactura. 4. Cambio de combustibles. 5. Fortalecimiento de la administración.
Asociación de Cemento de Japón (JCA)[47]	Reducir la intensidad energética en la producción de cemento en 3.8% para 2010 respecto a los niveles de 1990.	1. Utilización de residuos como fuente de energía. 2. Mejora de eficiencia en instalaciones. 3. Instalación de equipo de ahorro de energía.

[45] Petroleum Association of Japan (PAJ)
[46] Japan Paper Association (JPA)
[47] Japan Cement Association (JCA)

Folio No. 00147

Industria	Meta de reducción	Medidas
Asociación de Fabricantes de Automóviles de Japón (JAMA)[48] Asociación de Industrias de Autopartes de Japón (JABIA)[49]	Reducir las emisiones totales de CO_2 en promedio 22% respecto a los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012.	1. Introducción de medidas que afectan la oferta de energía 2. Medidas por el lado de la demanda de la energía 3. Actualización de métodos de suministro de energía y tecnologías de operación y control 4. Cambio de combustible 5. Reducción e integración de líneas de producción

Fuente: (ECCJ, 2008)

[48] Japan Automobile Manufactures Association, Inc. (JAMA)
[49] Japan Auto-Body Industries Association, Inc. (JABIA)

Folio No. 00148

II.6.4 Ley de Conservación de la Energía[50]

Su antecedente directo fue la Ley de Racionalización del Uso de Energía[51] de 1979. Ha sido sometida a 6 revisiones, la última fue en 2008 y entrará en vigor completamente en abril de 2010. Es la base legal de las medidas de uso eficiente de energía en fábricas, edificios, transporte y maquinaria y equipo, para garantizar el uso correcto de los combustibles. La Secretaría de Economía, Comercio e Industria es el encargado de publicar las medidas para cada uno de los sectores.

II.6.4.1 Fábricas

Las medidas están destinadas a fábricas, oficinas y lugares de trabajo para lograr un uso eficiente de la energía. La ley indica que deben presentar un plan de mediano y largo plazo y un reporte anual sobre su consumo de energía ante la Secretaría de Economía, Comercio e Industria (METI).

Se clasifican en dos grupos: *Specified Business Operators*, donde se incluyen las fábricas y lugares de trabajo cuyo consumo energético sea mayor a 1500 kl eo; y *Specified Chain Business Operators*, que agrupa a las tiendas de conveniencia o restaurantes que tienen fábricas o lugares de trabajo con un consumo mayor a 1500 kl eo. Dentro de los grupos existe otra clasificación, Tipo 1 y Tipo 2. El Tipo 1 es para los grandes consumidores de combustibles o electricidad, 3000 kl eo o más por año. Y el Tipo 2 agrupa a consumidores medianos, 1500 kl eo o más anual.

En la ley se encuentran especificados estándares y objetivos para los diferentes equipos de operación de las fábricas. :

- Razón de aire para calderas.
- Temperatura de gases residuales de calderas
- Razón de aire para hornos industriales
- Valores estándar y valor objetivo para recuperación del calor residual para hornos industriales
- Valores estándar y valor objetivo para la superficie de la pared exterior de los hornos industriales
- Valor estándar y objetivo del factor de potencia
- Objetivos de eficiencia de motores de alta eficiencia

II.6.4.2 Edificios

Las medidas se centran en el aislamiento de edificios. Van dirigidas a constructores y dueños de edificios con el objeto de prevenir la perdida de calor y utilización eficiente de la energía en las instalaciones de los edificios. Las medidas son establecidas y publicadas por el METI y la Secretaría de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo (MLIT, *por sus siglas en inglés*). Los edificios son clasificados en dos grupos de acuerdo al tamaño de la

[50] Energy Conservation Law
[51] Law Regarding the Rationalization of Energy Use

construcción. El Tipo 1 es para los que tengan 2000 m^2 o más, y el Tipo 2 agrupa a los de 300 m^2 o más, pero menos de 2000 m^2.

Se especifican estándares para los siguientes componentes:

- Prevención de pérdida de calor a través de paredes, ventanas, etc. para los edificios.
- Uso eficiente de la energía del aire acondicionado.
- Uso eficiente de la energía del equipo mecánico de ventilación diferente del aire acondicionado.
- Uso eficiente de la energía de Iluminación.
- Uso eficiente de la energía de equipo de abastecimiento de agua caliente.
- Uso eficiente de la energía de equipos de elevación.

II.6.4.3 Maquinaria y equipo

La ley establece medidas enfocadas a mejorar la eficiencia energética de los aparatos. Un objetivo es lograr que los consumidores utilicen aparatos eficientes energéticamente, sin embargo una medida con mayor efectividad es asegurarla en la etapa de producción. Los productores e importadores de los diferentes productos tienen que asegurar que cumplan con las normas de eficiencia energética, así como etiquetarlos con el consumo de energía de cada producto. Las metas de eficiencia, así como los estándares están detallados en el programa *Top Runner*.

II.6.4.4 Transporte

Las medidas destinadas a la mejora energética en el sector transporte están dirigidas al combustible, a los transportistas y consignatarios. Deben establecer metas de mediano y largo plazo, así como realizar reportes de uso de energía cada año (ver Tabla II.14).

Tabla II.14 Metas de eficiencia por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Año fiscal meta y valor estándar meta
Vehículos de pasajeros (Capacidad de 10 personas o menos)	Gasolina	• Año fiscal 2010 y cada y cada uno de los siguientes años (hasta 2014): Cumplir con los estándares meta (1). • Año fiscal 2015 y cada y cada uno de los siguientes años: Cumplir con los estándares meta (2).
	Aceite Diesel	• Año fiscal 2005 y cada y cada uno de los siguientes años (hasta 2014): Cumplir con los estándares meta (1). • Año fiscal 2015 y cada y cada uno de los siguientes años (hasta 2014): Cumplir con los estándares meta (2).

Folio No. 00150

	Gas LP	• Año fiscal 2010 y cada y cada uno de los siguientes años: Cumplir con los estándares meta (1).
Autobuses pequeños (Capacidad de 11 personas o más, peso bruto de 3.5 t o menos)	Gasolina o Aceite Diesel	• Año fiscal 2015 y cada y cada uno de los siguientes años: Cumplir con los estándares meta (2).
Autobuses de ruta, autobuses normales Autobuses pequeños (Capacidad de 11 personas o más, peso bruto mayo a 3.5)	Aceite Diesel	• Año fiscal 2015 y cada y cada uno de los siguientes años: Cumplir con los estándares meta (2).

Fuente: (ECCJ, 2008)

II.6.5 Programa top runner[52]

En la revisión de la Ley en 1998, se incluyo el Programa "top-runner", que es un sistema de regulación obligatoria con el objetivo de mejorar de forma continua la eficiencia energética de los aparatos electrodomésticos y de oficina, así como de vehículos. La manufactura e importación de algunos productos están obligados a cumplir con el programa top-runner. Actualmente el programa tiene estándares para 21 grupos de productos que pueden ser clasificados en tres categorías:

1. Maquinaria y equipo de mayor uso en Japón;
2. Maquinaria y equipo con un gran consumo energético; y,
3. Maquinaria y equipo que requiere mejora en el consumo eficiente de energía.

Los métodos de evaluación de consumo de energía se basan en estándares internacionales y en el Estándar Industrial Japonés[53] (METI, 2008); en caso de no existir se establecen independientemente. El periodo de aplicación y evaluación para cada producto es diferente y tiene un rango de 3 a 10 años. En 2008 se presentaron los resultados de la aplicación del programa (ver Tabla II.15). En casi todos los productos se excedió la meta de mejora de eficiencia energética establecida. El periodo de evaluación para cada producto se muestra entre paréntesis en la tabla siguiente:

Tabla II.15 Resultados del Programa Top Runner

Producto	Resultado en mejora de eficiencia energética (%)	Expectativa en mejora de eficiencia energética (%)
TVs	25.7 (1997-2003)	16.4
VCRs	73.6 (1997-2003)	58.7

[52] Top Runner Program
[53] Japanese Industrial Standar (JIS)

Folio No. 00151

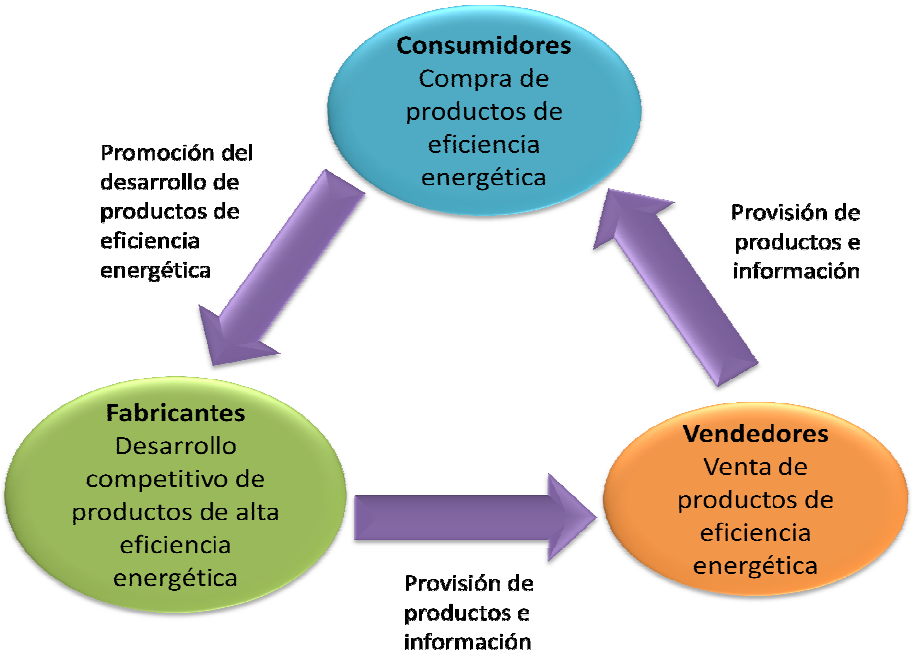
Producto	Resultado en mejora de eficiencia energética (%)	Expectativa en mejora de eficiencia energética (%)
Aire acondicionado	67.8 (1997-2004)	66.1
Refrigeradores	55.2 (1998-2004)	30.5
Congeladores	29.6 (1998-2004)	22.9
Vehículos de pasajeros a gasolina	22.8 (1995-2005)	22.8
Vehículos de carga a diesel	21.7 (1995-2005)	6.5
Máquinas expendedoras	37.3 (200-2005)	33.9
Computadoras	99.1 (1997-2005)	83.0
Unidades de disco magnético	98.2 (1997-2005)	78.0
Lámparas flourescentes	35.6 (1997-2005)	16.6

Fuente: (METI, 2008)

Para facilitar expansión del programa, se creó el Programa de etiquetado de ahorro de energía (Energy Saving Labeling Program) de carácter voluntario. El objetivo es brindar información a los consumidores sobre la eficiencia energética de los productos etiquetados. Cada etiqueta debe contener 4 elementos: grado de ahorro de energía, tasa de ahorro de energía, consumo de energía, año fiscal meta o año de evaluación.

Folio No. 00152

Figura II.11 Proceso de funcionamiento del Programa Top Runner



Fuente: Video de promoción del Programa Top Runner, 2008

II.6.6 Ley para la Conservación de la Energía y Apoyo al Reciclaje[54]

El objetivo de la ley es apoyar a aquellos que voluntariamente adopten medidas de racionalización en el uso de la energía y uso de recursos naturales (ECCJ, 2009). Las medidas o proyectos que pueden ser objeto de apoyo por parte del gobierno se clasifican en tres:

1. Instalación o mejora de equipo que contribuya al uso racional de energía en fábricas o lugares de trabajo.
2. Uso de material o instalación de alguna mejora que permita el uso racional de energía durante la construcción de edificaciones.
3. Investigación y desarrollo en fabricación de productos industriales que ayuden al uso racional de la energía.

Los proyectos que entren en las tres categorías clasificadas anteriormente pueden ser objeto de dos medidas de apoyo. La primera es una tasa de interés preferencial, 1.8% para actividades especificas en las fábricas y 1.85% para edificaciones (ECCJ, 2009). Y la segunda consiste en otorgar bonos por parte de New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

[54] Law for Energy Conservation and Recycling Support

II.6.7 Sistema Voluntario de Comercio de Emisiones[55]

El Sistema Voluntario de Comercio de Emisiones (JVETS, *por sus siglas en inglés*) fue creado en 2005 por la Secretaría de Medio Ambiente con el objeto de acumular conocimiento y experiencia acerca del comercio de emisiones y ayudar a las actividades enfocadas a la reducción de emisiones de CO_2. Ayuda a asegurar a que las empresas o negocios logren su objetivo de reducción de forma costo-efectiva usando mecanismos como los subsidios.

Tabla II.16 Normatividad en materia de cambio climático, energía y medio ambiente

JAPÓN			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Reducción de emisiones de CO_2 por actividades gubernamentales	Gobierno	Cambio Climático	2007
Fondo para la eficiencia energética y reducción de CO_2 :Banco de Energía	Asistencia Internacional	Cambio Climático	2007
Asociación Asia-Pacifico sobre desarrollo limpio y clima	Políticas marco	Cambio Climático	2005
Programa de adquisiciones de créditos de carbono	Políticas marco	Cambio Climático	2005
Plan de acción para lograr el objetivo del protocolo de Kioto	Políticas marco	Cambio Climático	2005
Revisión de la ley de promoción de medidas en contra del cambio climático	Políticas marco	Cambio Climático	2005
Subsidios para la promoción de reducción de emisiones de empresas japonesas en los países en desarrollo	Políticas marco	Cambio Climático	2005
Plan de acción voluntario Keidanren-reducción 6% de emisiones	Políticas marco	Cambio Climático	2005
Sistema voluntario de comercio de emisiones –J VETS	Generación de energía Industria	Cambio Climático	2005
Normas de información de gases de efecto invernadero	Generación de energía Industria	Cambio Climático	2005

[55] Japan's Voluntary Emissions Trading Scheme, JVETS

Folio No. 00154

JAPÓN			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Fondo de reducción de GEI en Japón	Políticas marco	Cambio Climático	2004
Asociación de mercado de metano- Japón	Políticas marco	Cambio Climático	2004
Planificación del programa demostrativo sobre comercio de emisiones	Políticas marco	Cambio Climático	2003
Comité de coordinación para el uso de los mecanismo de Kioto	Políticas marco	Cambio Climático	2002
Planificación del sistema de comercio de las emisiones locales	Políticas marco	Cambio Climático	2002
Ley de promoción de medidas en contra del cambio climático	Políticas marco	Cambio Climático	1998
Impuesto a combustibles fósiles	Políticas marco	Combustibles fósiles	2005
Planificación de régimen de comercio de emisiones voluntarias	Políticas marco	Combustibles fósiles	2002
Reforma tributaria de energía de los combustibles fósiles	Generación de energía	Combustibles fósiles	2003
Participación en el foro de líderes en secuestro de carbono	Generación de energía	Combustibles fósiles	2003
Planificación de los impuestos de energía de los combustibles fósiles	Generación de energía	Combustibles fósiles	2002
Nuevo reglamento para proveedores de energía (Revisado de la Ley de conservación de energía 2005)	Generación de energía	Electricidad	2006
Programa de garantías para proyectos regionales de cogeneración a gran escala	Generación de energía	Electricidad	
Programa básico de vivienda: normas de eficiencia energética	Generación de energía Industria Residencial Transporte	Energía renovable	2006

Folio No. 00155

JAPÓN			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Subsidio para proyectos de energía amigables con el medio ambiente en comunidades	Generación de energía Industria residencial	Energía renovable	1993
Subsidios para sistemas PV residenciales	Generación de energía	Energía renovable	2009
Nuevos objetivos 2010 de energías renovables	Generación de energía	Energía renovable	2008
Programa de ahorro de energía de Asia	Políticas marco Generación de energía	Energías renovables	2006
Ley de uso racional de la energía (revisión de la Ley de conservación de energía)	Políticas marco Generación de energía	Energías renovables	2008
Energía verde: Normas para el portafolio de Energías renovables- RPS 2007	Generación de energía	Energías Renovables	2003
Desarrollo multilateral de plantas de energía nuclear generación IV	Producción de energía	Nuclear	1999
Campaña de sensibilización de uso de energía nuclear	Producción de energía	Nuclear	1999
Fortalecimiento de la ley de conservación de la energía	Políticas marco	Planeación energética	2005
Revisión integral de la política energética japonesa	Políticas marco	Planeación energética	2004

Fuente: (AIE, 2010)

Folio No. 00156

II.7 China

En el contexto del cambio climático y la adopción del Protocolo de Kioto, China ha desarrollado varias políticas y medidas para tratar la problemática del cambio climático. Las condiciones económicas y sociales del país lo hacen vulnerable a los efectos del cambio climático. En la COP 13, se comprometió a establecer una meta de ahorro energético del 20% a 2010 (Du, s/f). El gobierno estima que lograr la meta equivale a una reducción del 10% de las emisiones de GEI. Para alcanzarla, el gobierno ha implementado diversas medidas de mitigación y adaptación, buscando armonía entre economía, población, recursos y medio ambiente. Los objetivos generales que guían las políticas de cambio climático son los siguientes:

- Reestructuración de la economía, promoción de tecnología avanzada y mejora en la eficiencia energética. La estructura económica se ha modificado para lograr el desarrollo de la industria terciaria y reestructura de la secundaria. Conservación de la energía como pilar de política energética.

- Desarrollo de tecnologías bajas en carbono y renovables. Se ha fomentado el uso de energía hidráulica, nuclear, biomasa, solar, geotérmica y eólica.

- Campaña de reforestación, restauración ecológica y protección ambiental.

Algunas dificultades que China tiene que enfrentar están relacionadas con la estructura energética. China tiene una mezcla de energía dominada por el carbón, y las tecnologías y procesos que se utilizan en las industrias son obsoletos o atrasados. Ante esto, el gobierno ha creado el Programa Nacional de Cambio Climático (CNCCP), con el objetivo de cumplir la meta establecida ante las Naciones Unidas. Además en 2007, el gobierno estableció el Comité de Coordinación Nacional de Cambio Climático, compuesto por 20 Secretarías y sectores del gobierno, cuya misión es la formulación y coordinación de las políticas y medidas relacionadas con la mitigación y adaptación al cambio climático.

También ha desarrollado varias leyes y políticas con el fin de mejorar la estructura y eficiencia energética, que si bien no fueron creadas explícitamente para combatir el problema de cambio climático, están íntimamente relacionadas con el tema. El décimo primer Plan quinquenal para el Desarrollo Nacional Económico y Social reúne todos los objetivos y medidas de las leyes relacionadas con el sector energético. Entre las más relevantes se encuentran la Ley de Energía Renovable, Ley de Contaminación del Aire y la Ley de la Conservación de la Energía

II.7.1 Programa Nacional de Cambio Climático de China

El Programa Nacional de Cambio Climático de China (CNCCP) está divido en 5 partes: 1) Cambio climático y esfuerzos en China; 2) Impactos y retos del cambio climático en China; 3) Lineamientos, principios y objetivos para combatir el cambio climático; 4) Políticas y medidas en áreas estratégicas para combatir el cambio climático; y 5) Posición de China en asuntos estratégicos de cambio climático y la necesidad de cooperación internacional. Los objetivos generales del plan son:

- Control de las emisiones de GEI
- Aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático

Folio No. 00157

- Aumentar el nivel en ciencia, tecnología e investigación relacionado con el cambio climático.
- Aumentar la consciencia pública sobre cambio climático
- Fortalecer las instituciones y mecanismos en cambio climático

El CNCCP especifica medidas de mitigación y adaptación para distintos sectores. Las medidas para la mitigación están enfocadas en los GEI y eficiencia energética, y las de adaptación a la agricultura, bosques y otros sistemas ecológicos naturales, recursos hídricos, y zonas y regiones costeras.

II.7.1.1 Mitigación

Las políticas y medidas implementadas por el gobierno chino para la mitigación de GEI, también tienen el objetivo de modificar la estructura económica, cambiar los patrones de desarrollo, ahorrar energía, y mejorar la eficiencia energética. La Tabla II.17 presenta las metas de reducción para los GEI y las medidas para alcanzarlas.

Tabla II.17 Medidas y metas de mitigación para los GEI en China

Meta de reducción	Medidas
Disminución en 2010 del consumo de energía por unidad de PIB en 20% respecto a los niveles de 2005.	• Fortalecimiento de la política de ahorro de energía y eficiencia. • Demostración y desarrollo de las tecnologías de conservación de energía. • Introducción de mecanismos de mercado para el ahorro de energía. • Control de GEI. • Acelerar la transformación del patrón de desarrollo económico. • Estimular la investigación y desarrollo.
Aumentar la proporción de energías renovables en el consumo de energía primaria en 10% y la extracción de metano de yacimientos de carbón arriba de 10 billones de m^3 para 2010.	• Optimizar la estructura de consumo de energía a través del desarrollo de energía renovable. • Impulsar la construcción de plantas nucleares. • Acelerar el desarrollo y uso de metano de yacimientos de carbón.

Folio No. 00158

Meta de reducción	Medidas
Para 2010, estabilizar los niveles de emisiones de N_2O de procesos industriales a niveles de 2005.	• Control de los GEI generados por procesos industriales. • Fortalecimiento de las políticas industriales • Desarrollo de la economía de reciclaje. o Ley de Promoción de Producción Limpia[56] o Ley de Prevención de Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos[57] o Ley de Economía de Reciclaje y Métodos para el Manejo de Residuos Domésticos Municipales[58] o Políticas en Tecnologías para el Tratamiento la Basura Urbana y la Prevención de la Contaminación[59] o Normas Técnicas en Rellenos Sanitarios de Residuos Domésticos[60] • Aumento de la eficiencia en la utilización de recursos. • Fortalecimiento del control de emisiones de N_2O.
Control de las emisiones de CH_4	• Procurar un control en las emisiones de CH_4. • Aumentar el uso y desarrollo de biodigestores. • Fortalecimiento de la I&D en la calidad de las razas de animales rumiantes y sistemas de producción intensiva de animales. • Fortalecimiento del tratamiento de estiércol animal.
Aumentar para 2010 la cobertura forestal en 20% e incrementar la capacidad anual de almacenamiento de carbono a 50 millones de toneladas de CO_2 por encima de los niveles de 2005.	• Continuar con proyectos de aforestación. • Conversión de tierras de cultivo en bosques y pastizales. • Protección de áreas naturales. • Control de la proliferación de plagas y enfermedades de plantas. • Reducir los costos de producción. • Prevenir la potencial expansión de la desertificación. • Asegurar el desarrollo sustentable de la producción agrícola.
Disminución de 50 MtCO2 a 2010 por energía nuclear.	• Construcción de plantas nucleares en las regiones costeras. • Unificar el enfoque de la tecnología. • Adoptar tecnologías avanzadas para realizar la construcción de plantas nucleares de gran escala de forma nacional.

Fuente: (Oficina de Información del Consejo de Estado de China, 2008)

Otras medidas de mitigación del sector energético determinadas en el Programa Nacional de Cambio Climático son las siguientes:

- **Desarrollo de la energía nuclear**. A través de la construcción de plantas nucleares en las regiones costeras, la unificación de la tecnología, así como la adopción de tecnologías avanzadas para realizar la construcción de plantas nucleares de gran escala de forma nacional se logrará una disminución de 50 $MtCO_2$ en 2010.

[56] Clean Production Promotion Law
[57] Law on the Prevention of Environmental Pollution by Solid Wastes
[58] Law on a Recycling Economy and Methods for the Management of Municipal Domestic Waste
[59] Policies on Technologies for the Treatment of Urban Garbage and Pollution Prevention
[60] Technical Norms on Sanitary Landfill of Domestic Wastes

- **Acelerar el avance en la tecnología de generación de energía térmica**. Medidas como el desarrollo de tecnología de generación de energía a través del gas natural o el metano de yacimientos de carbón; introducción de 600 MW o más de capacidad de generación de unidades supercríticas o ultracríticas, ciclos combinados y tecnologías limpias de generación de energía eléctrica; desarrollo de cogeneración; fortalecimiento de construcción de red eléctrica; disminución de pérdidas en la transmisión, transformación y distribución; pueden lograr una reducción de 110 $MtCO_2$ en 2010.
- **Desarrollo de la industria del metano de yacimientos de carbón (CBM[61]) y metano asociado a gases en minas de carbón (CMM[62])**. Con las medidas relacionadas a este objetivo se busca optimizar la estructura de la industria del carbón, reducir los accidentes en la producción del carbón, prevenir la contaminación ambiental y, minimizar las pérdidas de energía y emisiones de los procesos en las minas. Todos los proyectos de exploración y extracción de CBM y CMM están exentos o parcialmente exentos del pago de tarifas de derechos de minería, y se le aplican impuestos preferenciales. Con la adopción de estas medidas se puede lograr una disminución de 200 $MtCO_2$ para 2010.
- **Promover el desarrollo de la bio-energía**. Se busca promover el desarrollo y uso de la energía derivada de la biomasa. Con la adopción de las medidas se podrá reducir 30 $MtCO_2$ en 2010.
- **Desarrollo y uso de la energía eólica, solar, geotérmica, y maremotriz**. De acuerdo a las medidas estipuladas en la Ley de Energía Renovable se podrían disminuir 60 $MtCO_2$ para 2010.
- **Investigación y desarrollo**. Con el fin de mejorar la investigación y desarrollo, China debe aumentar su capacidad de innovación, impulsar la cooperación internacional y la transferencia tecnológica. Esto llevará a la mejora de las tecnologías relacionadas con la conservación de energía y a la capacidad de adaptación de la agricultura y silvicultura.
- **Difusión de información y mejora de la administración**. El gobierno busca aumentar la conciencia pública y participación de todos los sectores sobre el tema de cambio climático para la creación de un entorno favorable. Además de la creación de un marco institucional para la toma de decisiones de forma intersecretarial.

II.7.2 Décimo primer Plan quinquenal para el Desarrollo Nacional Económico y Social de la República Popular de China[63]

El Plan quinquenal señala las estrategias nacionales, prioridades de trabajo gubernamental y establece las bases para las funciones económicas, regulación de mercado, administración social y servicio público. En cuanto a los lineamientos para las metas de desarrollo, el gobierno ha establecido cuadriplicar el crecimiento económico con el doble del consumo energético entre 2000 y 2020. Dentro de este objetivo se encuentra la reducción en el consumo energético por unidad de PIB de 20% respecto a los niveles de 2005, equivalente a disminuir en 10% los GEI.

[61] Coal-bed methane
[62] Coal-mine methane
[63] 11th Five-Year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China

Lo anterior implica un reto para las políticas de energía, ya que la estructura energética de este país está dominada por el carbón. En 2006, las reservas de carbón se calcularon en 1,034.5 billones de toneladas, haciendo del carbón su fuente principal de energía. En ese mismo año, la proporción de carbón en el consumo de la energía primaria fue de 69.4% y en el uso final de 49.6%. La Oficina de Información del Consejo de Estado de China reporta que es el segundo lugar mundial en producción y consumo de energía. El consumo promedio de energía aumentó 5.6% anualmente durante el periodo de 1980 a 2006[64].

La estrategia energética definida en el Décimo primer Plan quinquenal da prioridad al ahorro de energía con base en los recursos nacionales, fomento de modelos de desarrollo sustentados en la ciencia y tecnología, protección al medio ambiente e incremento de la cooperación internacional. En cuanto al objetivo de reducción de intensidad energética se delinean las siguientes medidas:

Medidas para el ahorro de energía

- **Fomentar el ajuste estructural**. El objetivo es realizar un ajuste estructural en las industrias para modificar el patrón de crecimiento con el lema: “menos recursos, menos consumo, menos emisiones y mayor eficiencia”. Para lograrlo se pretende desarrollar industrias de alta y nueva tecnología, limitar el crecimiento de las industrias con alto consumo de agua y energía, limitar industrias con baja productividad, y desarrollar medidas industriales de ahorro de energía.
- **Mejora del ahorro de energía en la industria**. Se busca implementar industrias de alta y nueva tecnología a través de metas de ahorro de energía. Las medidas de control son para aquellas empresas que consuman de 10,000 toneladas de carbón o más por año, y de los siguientes sectores: acero, metales no ferrosos, carbón, electricidad, petróleo y petroquímico ingeniería química y materiales de construcción.
- **Desarrollo de proyectos de ahorro energético**. China lleva a cabo 10 proyectos clave de ahorro energético, que incluyen sustitución de petróleo, cogeneración, utilización de excedentes de calor y construcción de edificios eficientes. También se pretende eliminar automóviles y barcos viejos, y desarrollar transporte público; imponer límites a los automóviles con alto consumo de combustible y propagar aquellos eficientes en el uso del combustible; propagar aparatos con alta eficiencia energética a través del *Proyecto de Iluminación Verde* (Green Lighting Project).
- **Fortalecimiento de la administración del ahorro de energía**. El gobierno chino implementó un mecanismo de contratación obligatoria para la compra de productos de ahorro de energía, con el fin de fomentar a otros sectores el uso de este tipo de productos. Se planea crear un sistema de incentivos fiscales para aquellos productos que certifiquen el ahorro de energía en su proceso de producción y uso.
- **Promoción del ahorro de energía en la sociedad**. Se pretende incorporar a la educación básica programas de ahorro de energía, así como entrenamiento técnico y educacional acerca de medidas relacionadas. Además de lanzar campañas a través de los medio masivos de comunicación acerca del tema. Todo esto con el fin de construir una cultura de conservación de energía a largo plazo y que involucre a todos los sectores de la sociedad.

[64] El crecimiento de la economía fue de 9.8% anual promedio.

Folio No. 00161

Medidas para la mejora en la capacidad de suministro de energía

- **Desarrollo de la industria del carbón de forma ordenada**. Debido a la fusión reorganización de las empresas, se crearán grandes conglomerados de minas de carbón con una capacidad de producción anual de 100 millones de toneladas. Desarrollo de la economía circular, es decir, protección ambiental, uso exhaustivo de los recursos, y acelerar el desarrollo industrializado del metano que se encuentra en los yacimientos de carbón.
- **Activar el desarrollo de la industria eléctrica**. El gobierno chino debe fomentar la cogeneración y eliminar aquellas plantas cuya tecnología sea obsoleta. Además se desarrollará la hidroeléctrica, la energía nuclear, la generación de electricidad con base en gas natural y la energía renovable. Se fortalecerá la creación de redes de conexión y transmisión en las regiones de China Oriental.
- **Acelerar el desarrollo del petróleo y gas**. Se va intensificar la extracción de petróleo y gas natural de los grandes yacimientos, así como la exploración de nuevos en tierra y mar con el fin de aumentar las reservas. También se desarrollará fuentes de energía no convencionales como gas de yacimientos de carbón, petróleo a partir de lutita y de arenas impregnadas con brea, entre otras.
- **Desarrollo de la energía renovable**. El gobierno debe crear medidas y políticas que ayuden a cumplir las metas establecidas en el Ley de Energía Renovable.
- **Mejorar el desarrollo energético en las áreas rurales**. Ante la necesidad de proveer de electricidad a las zonas rurales, se continúa con el Proyecto de Iluminación (Lighting Project). El proyecto consiste en utilizar pequeñas hidroeléctricas, energía eólica y solar. Además se fomentará el uso de la biomasa y energía solar, así como la propagación de estufas de leña y estufas ahorradoras de energía.

II.7.3 Ley de Energía Renovable[65]

La Ley de Energía Renovable entró en vigor en 2006 con el objetivo de hacer obligatoria la compra por parte de las compañías que conectan la red de toda la energía eléctrica derivada de las renovables. Bajo esta ley, la energía eléctrica renovable tiene prioridad en entrar a la red con un precio favorable. También se plantea la creación de un fondo dedicado al desarrollo de la energía renovable que fomenté la investigación y desarrollo tecnológico y construcción de proyectos demostrativos y piloto. Las autoridades encargadas del sector energético son las responsables de determinar los objetivos de mediano y largo plazo. Bajo este esquema, China estableció que 10% de la energía primaria debe provenir de fuentes renovables para 2010 (incluyendo a las grandes hidroeléctricas) y 15% en 2020. Para el sector de energía eléctrica, la meta es que las energías renovables tengan una participación del 20% de la capacidad de generación total al año 2020. Esto incluye 30GW de eólica, 20 GW de biomasa y, 300 GW de hidroeléctricas. También se plantea un esquema de incentivos fiscales para lograr los objetivos, como la creación de un fondo nacional para fomentar las energías renovables, préstamos con tasas de descuento, e impuestos preferenciales para todos los proyectos de energías renovables. Para garantizar la inversión en este tipo de proyectos, el gobierno

[65] Renewable Energy Law

Folio No. 00162

debe asegurar la interconexión a la red y precios mínimos para ciertas energías renovables.

II.7.4 Plan de Desarrollo de Mediano y Largo Plazo para la Energía Renovable en China

El Plan se promulgó en 2007 y establece los objetivos para el desarrollo de la energía renovable en China para el año 2020. Los propósitos generales consisten en incrementar la proporción de la energía renovable en el consumo total de energía; resolver el problema de falta de electricidad en zonas aisladas; estimular el uso de residuos orgánicos para la obtención de energía; y promover el uso de energía renovable en las industrias. Se pretende utilizar toda la tecnología madura y económicamente viable de la hidroeléctrica, biogás, solar térmica y geotérmica, y promover el desarrollo de la eólica, biomasa y solar fotovoltaica (NDRC, 2007).

Retoma el objetivo presentado en la Ley de Energía Renovable de lograr el 10% de participación en 2010 y establece llegar al 15% para 2020. La Tabla II.18 resume las metas de desarrollo de las distintas energías renovables.

Tabla II.18 Metas para la energía renovable en 2010 y 2020

Energía renovable	2010 (GW)	2020 (GW)
Hidroeléctrica	190	300
Biomasa	5.5	30
Biomasa de desechos de agricultura y forestales	4	24
Biogas	1	3
Residuos sólidos municipales	0.5	3
Eólica	5	30
Solar	0.3	1.8

Fuente: CMM con información del Plan de Desarrollo de Mediano y Largo Plazo para la Energía Renovable en China, 2007

Otro objetivo es lograr que en 2010, China produzca nacionalmente todos los equipos necesarios para la industria renovable, y que en 2020 ya se desarrollé en el país toda la tecnología. Para lograr las metas del plan se definen las siguientes medidas y políticas:

- **Establecer una demanda de mercado estable**. Estimular la industria a través de políticas de precios favorables, inversión pública, programas de concesión gubernamentales, y *mandated market share* (MMS) policies.
- **Mejorar el entorno del mercado**. Las compañías estatales de la red de energía eléctrica y de venta de gasolina tienen la responsabilidad de comprar energía renovable y biocombustibles líquidos. Se facilitará la conexión a la red y se construirán líneas de transmisión para la energía renovable. Además se construirán estaciones de despacho para el biodiesel y el bioetanol.

Folio No. 00163

- **Establecer tarifas de energía renovable y políticas de costos**. Las autoridades responsables establecerán un sistema de precios de la energía renovable con base en las características técnicas y regionales de las tecnologías.
- **Aumentar incentivos fiscales**. Conforme a lo estipulado en la Ley de Energía Renovable, se debe crear un fondo para la energía renovable. El monto de la inversión irá de acuerdo a los requerimientos para el desarrollo de la energía renovable.
- **Acelerar el progreso de la tecnología y el desarrollo de la industria**. Se incentivará el desarrollo tecnológico y aumentará la capacidad de innovación.

II.7.5 Plan Nacional de Mediano y Largo plazo para el Desarrollo Científico y Tecnológico

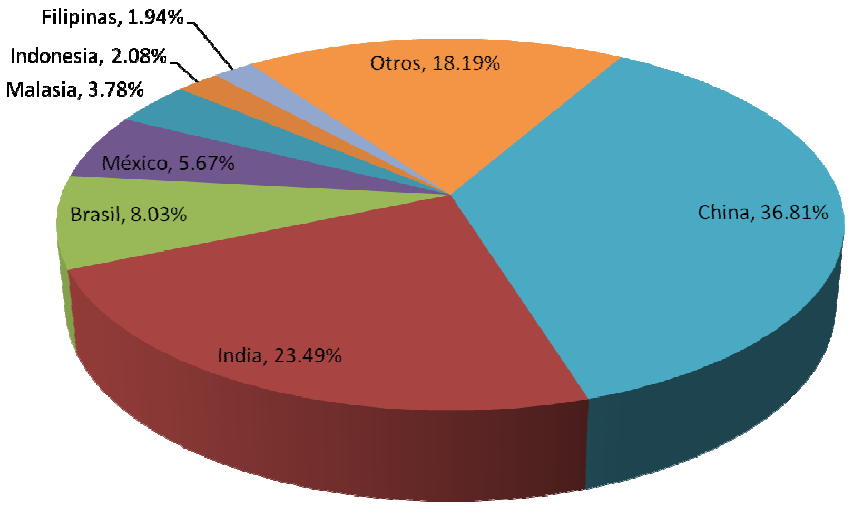
El gobierno de China promulgó en 2005 el Plan Nacional para el Desarrollo Científico y Tecnológico de Mediano y Largo Plazo con el objetivo de priorizar el desarrollo de las tecnologías energéticas e innovar en los sectores clave. Además se pretende crear un vínculo entre empresas, universidades e institutos de investigación para la innovación tecnológica en el ahorro de energía, sustitución, reciclado y control de la contaminación. Las medidas establecidas

- **Difundir tecnologías de ahorro de energía**. Se dará prioridad al desarrollo de tecnologías dirigidas a los sectores de alto consumo energético, industria, transporte y construcción, para aumentar la eficiencia en el uso de los recursos. También se fortalecerán las medidas de control, supervisión y manejo de energía.
- **Estimulación en tecnologías clave**. Fomentar el desarrollo de tecnologías limpias a base de carbón como gasificación, conversión y procesamiento del carbón. Extender tecnologías avanzadas de generación de electricidad como ciclo combinado de gasificación integrada (IGCC, *integrated gasification combined cycle*), supercríticas y ultracríticas, carboeléctricas de lecho fluidizado circulantes (CFB), gasificación de carbón con poligeneración. Se da importancia a la tecnología de tercera generación de reactores de agua presurizada en plantas nucleares, así como la tecnología industrial experimental de reactores de alta temperatura enfriados con gases. Se buscan tecnologías que permitan la exploración de petróleo y gas en condiciones geográficas complicadas, así como el desarrollo de tecnologías que permitan el uso a gran escala de la energía renovable, entre otros.
- **Fortalecimiento de la investigación tecnológica**. China se enfoca en la investigación de tecnologías que permitan la conversión de combustibles fósiles, biomasa a hidrogeno, así como a su almacenamiento, transmisión y distribución. Fomenta la tecnología para la manufactura de los componentes para celdas de combustible.
- **Desarrollo de la investigación científica básica**. El fomento de la investigación básico es necesario para lograr el objetivo de la independencia en innovación y desarrollo. La investigación se centrara en la eficiencia energética en ahorro y almacenamiento de energía, tecnologías que permitan el uso en gran escala de energías renovables, energía nuclear e hidrogeno.

II.7.6 Medidas de Operación y Manejo de los Proyectos MDL

El mecanismo de desarrollo limpio (MDL) se ha convertido en una herramienta de gran uso en China. Según datos de la UNFCCC, China tienen registrados 758 proyectos que representa el 36.81% del total de proyectos registrados (ver Figura II.12). Ante eso, el gobierno ha creado el Fondo de Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDMF). Los recursos de este fondo provienen de una parte, autorizada por el gobierno, de los beneficios obtenidos de los CER's. El objetivo es que se use para apoyar actividades relacionadas con el cambio climático, como la investigación en ciencia y tecnología, aumentar la capacidad de adaptación y mitigación de China, así como la implementación de las medidas estipuladas en el Programa de Cambio Climático.

Figura II.12 Proyectos MDL registrados ante la UNFCCC por país



Fuente: Centro Mario Molina con datos de la UNFCCC, 2010.

A continuación se enlistan las medidas y normatividad existente en China considerando el tipo de instrumento, sector, tipo de fuente energética y años de publicación.

Tabla II.19 Normatividad de China en materia de cambio climático, energía y medio ambiente

CHINA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
11° Plan quinquenal para el desarrollo de la industria del carbón	Políticas marco	Combustibles fósiles	2007
Método de gestión de productos de derivados del petróleo	Políticas marco	Combustibles fósiles	2007

Folio No. 00165

CHINA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Políticas para el uso del gas natural	Políticas marco	Combustibles fósiles	2006
Administración de los métodos para la recolección especial del petróleo	Políticas marco	Combustibles fósiles	2006
Directrices sobre el plan de tres años para el cierre de las minas de carbón	Políticas marco	Combustibles fósiles	2006
Aviso sobre el ajuste del precio del combustible	Políticas marco	Combustibles fósiles	2006
Plan de desarrollo a mediano y largo plazo en la industria de la refinación	Políticas marco	Combustibles fósiles	2006
Programa nacional de cambio climático de China	Políticas marco	Cambio Climático	2007
Acciones científicas y tecnológicas sobre el cambio climático	Políticas marco	Cambio Climático	2007
Programa de alumbrado verde en China	Políticas marco	Cambio Climático	1996
Revisión de la Ley de Carbón	Políticas marco	Combustibles fósiles	2005
Algunas directrices para promover el desarrollo sustentable de la industria del carbón	Políticas marco	Combustibles fósiles	2005
Reglamentos para el manejo de la reserva nacional de petróleo	Políticas marco	Combustibles fósiles	2004
Reglamentos para la protección de la líneas de conducción de petróleo y gas	Políticas marco	Combustibles fósiles	2001
Ley de la industria del carbón	Políticas marco	Combustibles fósiles	1996
Reglas acerca de la cooperación extranjera para la exploración en tierra del petróleo	Políticas marco	Combustibles fósiles	1993
Informe sobre el acelerado desarrollo de pequeñas minas de carbón	Políticas marco	Combustibles fósiles	1983
Reglas sobre cooperación exterior para exploración del petróleo en tierra	Políticas marco	Combustibles fósiles	1982

Folio No. 00166

CHINA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Aviso acerca de acelerar el cierre de pequeñas carboeléctricas	Generación de energía	Combustibles fósiles	2007
Comunicación sobre la reducción del precio de electricidad a la red de distribución de pequeñas carboeléctricas con el fin de promover su cierre	Generación de energía	Combustibles fósiles	2007
11° Plan quinquenal para la mejorar la red de electricidad rural y el desarrollo de zonas sin acceso a la electricidad	Generación de energía	Electricidad	2007
Ley de energía eléctrica	Generación de energía	Electricidad	1995
Plan a mediano y largo plazo para el desarrollo de energías renovables	Políticas marco	Energía renovable	2007
Comunicación sobre la promoción del desarrollo saludable de la industria de etanol y biocombustibles	Políticas marco	Energía renovable	2006
Administración de la generación de electricidad a partir de energía renovable	Generación de electricidad	Energía renovable	2006
Método de gestión para la generación de energía renovable	Generación de electricidad	Energía renovable	2006
Precios y método de gestión de generación de energía renovable	Generación de energía	Energía renovable	2006
Comunicación relativa a la iniciación de programas piloto para la sustitución de combustibles fósiles con pequeñas centrales hidroeléctricas	Generación de energía	Energía renovable	2003
Programa de concesión de energía eólica	Generación de energía	Energía renovable	2003
Compendio del desarrollo de electrificación hidroeléctrica rural China, 2001-2015	Generación de energía	Energía renovable	2001
Ley de energía renovable	Políticas marco	Energías renovable	2005
Directrices para hidroeléctricas rurales	Generación de energía	Energías renovables	2006
Administración para la construcción energía eólica	Políticas marco	Energías renovales	2005

Folio No. 00167

CHINA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Directrices para el desarrollo de la energía nuclear	Políticas marco	Nuclear	2006
Plan de desarrollo de la energía nuclear a mediano y largo plazo 2005-2020	Generación de energía	Nuclear	2007
Undécima quinquenal Plan de la Industria nuclear	Generación de energía	Nuclear	2006
11° Plan quinquenal de desarrollo de energía	Políticas marco	Planeación energética	2007
Ley de energía	Políticas marco	Planeación energética	2007
Plan de acción de ahorro de energía pública	Políticas marco	Planeación energética	2007
Ahorro global de energía del consejo estatal y directrices de trabajo para la reducción de emisiones	Políticas marco	Planeación energética	2007
Plan de política tecnológica a mediano y largo plazo 2006-2020	Políticas marco	Planeación energética	2006
Estrategia nacional de energía de China	Políticas marco	Planeación energética	2005
Ley de promoción de producción limpia	Políticas marco	Planeación energética	2002
Ley de conservación de la energía	Políticas marco	Planeación energética	1997

Fuente: (AIE, 2010)

Folio No. 00168

II.9 India

India es el quinto emisor mundial de GEI y representan el 5% del total mundial (AIE, 2009). Sin embargo, la intensidad de las emisiones[66] ha disminuido debido a la tasa de crecimiento económico de 8% que ha presentado en los últimos cinco años (PEW, 2008). De seguir con la misma tasa de crecimiento, el gobierno de la India proyecta un aumento en la demanda de energía de 5.2%. Al igual que China, India tiene una gran participación del carbón en su estructura energética. El carbón representa el 39% de la demanda total de energía primaria, seguida de la biomasa con 29%, petróleo 25% y gas natural con 5% (PEW, 2008). En 2007, según datos de la AIE, el 56% de las emisiones de CO_2 en India provenían de la generación de energía. Esta situación presenta un reto importante para la creación de políticas relacionadas con el cambio climático.

India accedió al Protocolo de Kioto en agosto de 2002. Como parte de los países de No-Anexo I no tiene una meta de reducción de emisiones establecida, sin embargo ha creado diversas medidas para combatir el cambio climático. En 2008, India lanzó su primer Plan de Acción Nacional para el Cambio Climático (NAPCC), donde se plantean los lineamientos sobre políticas y medidas para abordar el cambio climático. En el mismo año, creó el Consejo sobre el Cambio Climático presidido por el Primer Ministro para llevar a cabo la evaluación adaptación y mitigación del cambio climático, así como establecer los lineamientos en asuntos relacionados con la coordinación de las acciones de la agenda nacional, revisar la implementación del NAPCC y, fomentar la investigación y desarrollo. Las tres tareas principales son: desarrollar una respuesta coordinada a los asuntos relacionados con el cambio climático a nivel nacional; supervisar la formulación de los planes en las áreas de evaluación, adaptación y mitigación del cambio climático; y, supervisar las decisiones claves (ver Figura II.13).

Figura II.13 Acuerdo Institucional sobre Cambio Climático en India

Fuente: Consejo sobre Cambio Climático de la India, 2008

[66] Emisiones de GEI por unidad de PIB

Folio No. 00169

Además del Plan de Acción, India tiene políticas que contribuyen a la mitigación de GEI. Aunque no fueron creadas bajo el contexto del cambio climático, gran parte de las políticas están relacionadas con la eficiencia energética. A continuación se presenta una revisión de la normatividad vigente en materia de cambio climático y eficiencia energética

II.9.1 Plan de Acción Nacional sobre el Cambio Climático[67]

El Plan se dio a conocer en junio de 2008 como primera propuesta de India en materia de cambio climático. Consta de ocho misiones nacionales enfocadas a promocionar el entendimiento sobre el cambio climático, la adaptación y mitigación, eficiencia energética y conservación de recursos naturales. Las secretarias de gobierno son las encargadas de llevar a cabo las medidas establecidas en cada misión nacional con ayuda de la Secretaria de Finanzas y la Comisión de Planeación, así como de expertos de la industria, academia y la sociedad civil (NAPCC, 2008). El plan indica la realización de un reporte anual indicando el progreso. Las 8 misiones nacionales son las siguientes:

1. Misión Nacional en energía solar[68]

Se busca que la energía solar tenga mayor participación. El gobierno dice que India tiene las condiciones para poder desarrollar a gran escala la energía solar. Se busca la descentralización de la distribución de la energía Se instalará un programa de investigación y desarrollo que hago uso de la cooperación internacional. Sistemas de energía solar más adecuados y asequibles. Buscar innovaciones en la tecnología para que permitan un uso sustentable y de largo plazo de la energía solar.

2. Misión Nacional para alcanzar la eficiencia energética[69]

La base legal de esta misión es la Ley sobre Conservación de Energía de 2001.La institución responsable de llevar a cabo las medidas en el gobierno es el Departamento de Eficiencia Energética, y agencias designadas en cada estado. El objetivo de corto plazo es lograr un ahorro de energía de 10,000 MW al año 2012. A largo plazo, se pretende lograr un ahorro por cambio de combustible y mejor uso de electricidad equivalente a reducir 605 $MtCO_2$ (16% menos respecto a la línea base al 2031). Ese ahorro se planea alcanzarse mediante 4 iniciativas:

1. Crear un mecanismo de mercado que permita aumentar la rentabilidad de las mejoras en eficiencia energética de las grandes industrias e instalaciones, a través certificaciones de ahorro de energía que pueden ser comerciados.
2. Acelerar el cambio hacia aparatos de eficiencia energética a través de medidas que permitan su adquisición.
3. Aumentar el financiamiento y gestión de programas en todos los sectores para el ahorro de energía
4. Desarrollar instrumentos fiscales que permitan promover la eficiencia energética.

[67] National Action Plan on Climate Change
[68] National Solar Mision
[69] National Mission for Enhanced Energy Efficiency

Medias de la Misión de eficiencia energética

- Opciones tecnológicas de mitigación para las industrias del cloro y sosa, cemento, aluminio, fertilizantes, hierro y acero, celulosa y papel, y textiles.
- Opciones de tecnologías transversales de eficiencia energética. Esta medida tiene un potencial estimado de ahorro de energía de 5 a 15%
- Opciones de cambio de combustibles. Cambio de uso de carbón a gas natural, uso de gas derivado de biomasa para aplicaciones térmicas, y sistemas solares térmicos.

3. Misión Nacional para la creación de un hábitat sustentable[70]

Se espera que las medidas de eficiencia en las nuevas edificaciones residenciales alcancen un ahorro del 30% en electricidad y del 40% en establecimientos comerciales. En el caso de las edificaciones existentes el ahorro se estima en 20% para el sector residencial y de 30% para el comercial. Lograr un hábitat sustentable mediante mejora en la eficiencia energética de edificaciones, manejo de residuos sólidos, y cambio modal a transporte público. El objetivo es promover la eficiencia energética como un elemento esencial de la planeación urbana. Las iniciativas para lograr un hábitat sustentable son:

1. Uso del Código de Conservación de Energía, donde se especifican los estándares de demanda energética para las nuevas edificaciones y renovación de los existentes.
2. Reciclado de materiales y manejo de basura urbana. Desarrollo de tecnología para aprovechar la energía obtenida a partir de residuos. Programa de investigación y desarrollo enfocado en la transformación bioquímica, uso de aguas residuales y opciones de reciclaje.
3. Mejora de planeación urbana y aumento del transporte público, y facilitar el desarrollo de las ciudades pequeñas y medianas.

Además de las iniciativas mencionadas, se pretende aumentar la capacidad de adaptación de las ciudades a los efectos del cambio climático, mejorando la resiliencia de la infraestructura, manejo de desastres y mejora de sistema de alertas para eventos extremos.

4. Misión Nacional de la conservación del agua[71]

El objetivo es asegurar una gestión integral de los recursos hídricos, a través de la conservación, disminución del desperdicio y, aseguramiento de una distribución equitativa del agua. Se basa en la Política Nacional de Agua y marco regulatorio vigente. La meta es lograr una mejora en la eficiencia de uso de 20%, a través de mecanismos regulatorios como precios diferenciados y derechos (Consejo sobre cambio climático, 2008). Las medidas de esta misión son las siguientes:

- Estudios sobre el manejo de los recursos de agua superficial.
    - Estimar los flujos de ríos de las áreas montañosas

[70] National Mission on Sustainable Habitat
[71] National Water Mission

Folio No. 00171

  - Uso de modelos de cambio climático para cuencas hidrográficas regionales.
  - Extender las técnicas trazadores isotópicos a las estaciones de monitoreo
  - Desarrollar modelos digitales de elevación de áreas propensas a inundaciones
  - Realizar mapas de áreas propensas a inundaciones para desarrollar planes de manejo de inundaciones.
  - Fortalecimiento del monitoreo de glaciales y nevadas para evaluar el derretimiento de nieve a los flujos de los ríos.
  - Planeación de gestión de cuencas de los ecosistemas de montaña.
- Gestión y regulación de las aguas subterráneas.
  - Orden de recolección y recarga artificial de aguas en areas urbanas
  - Fortalecer la recarga de las fuentes y recarga de los mantos acuíferos
  - Evaluación obligatoria y auditoria de recursos hídricos y asegurar el
  - Regulación de las tarifas energéticas de irrigación
- Mejora de las estructuras de almacenamiento
  - Priorizar cuencas vulnerables
- Conservación de los humedales
- Desarrollo de tecnologías de desalinización

5. Misión Nacional para la Preservación del ecosistema del Himalaya

El ecosistema que existe en la región de Himalaya es importante para India por la cantidad de recursos que existen como los glaciales, cubierta forestal, alimentación de los ríos perennes, biodiversidad, etc. El cambio climático se verá reflejado en cambios de temperatura, alterar patrones de precipitación, y periodos más constantes de sequía.

Las medidas para la preservación van de acuerdo a la Política Nacional Ambiental (National Environment Policy) de 2006, y son las siguientes:

- Planeación apropiada de uso de suelo y control de cuencas hidrológicas para un desarrollo sustentable.
- Adoptar normas de “buenas prácticas” para la construcción de infraestructura con el fin de minimizar impactos en los ecosistemas.
- Fomentar el cultivo de variedades tradicionales de semillas y horticultura, a través de la agricultura ecológica.
- Promover el turismo sustentable a través de normas de “buenas prácticas” para las instalaciones turísticas
- Regular los flujos turísticos asegurándose de que se mantenga dentro de la capacidad ecológica.

6. Misión Nacional para crear a una India verde

Dada la importancia de los bosques en el tema de cambio climático, la misión tiene dos objetivos. El primero es incrementar la cobertura forestal y su densidad, y el segundo es la conservación de la biodiversidad. Para el primer objetivo se tiene contemplado alcanzar una tasa anual de plantación de 3.3 millones de hectáreas para lograr que un tercio del

territorio de la India este cubierto por bosques (NAPCC, 2008). El programa se llevará a cabo a través de:

- Orientación sobre prácticas de silvicultura para especies de árboles resistentes a condiciones climáticas adversas y de rápido crecimiento.
- Reducir la fragmentación del bosque creando corredores para la migración de especies.
- Aumento de la inversión pública y privada para mejorar la cobertura y densidad de los ecosistemas forestales.
- Revitalización y ampliación de iniciativas comunitarias como la gestión conjunta de bosques (*Joint Forest Management*) y el Comité Van Panchayat para la gestión forestal.
- Implementación del Plan de la India Ecológica (*Greening India Plan*)
- Formulación de estrategias para el control de incendios forestales.

El segundo objetivo es importante para mantener la resiliencia de los ecosistemas. Las medidas para lograr la conservación de la biodiversidad son:

- Conservación in-situ y ex-situ de la flora y fauna.
- Creación de registros de biodiversidad a nivel nacional y local para la documentación de la diversidad genética.
- Implementación del Sistema de Áreas Protegidas (Protected Areas System) bajo la Ley de Conservación de Vida Silvestre.

7. Misión Nacional para una Agricultura Sustentable[72]

Plantea hacer a la agricultura resiliente al cambio climático, a través de la identificación y desarrollo de nuevas variedades de semillas resistentes a eventos climáticos extremos, periodos largos de sequía e inundaciones. Se plantean mecanismos de seguros y préstamos que faciliten el desarrollo de tecnologías de información, tecnologías geoespaciales y biotecnología. Las medidas se enfocan en 4 áreas principales: agricultura de temporal, control de los riesgos, acceso a la información y uso de biotecnología.

- Agricultura de temporal:
  - Desarrollo de semillas resistentes a la sequía y plagas
  - Mejora de métodos para la conservación del suelo y agua
  - Apoyo financiero que permita a los agricultores invertir en tecnologías para superar condiciones climáticas adversas.
  - Creación de grupos y ejercicios de demostración para los agricultores con el fin de difundir información agroclimática.
- Control de riesgos:
  - Fortalecimiento de los seguros para agricultura
  - Mapeo de las regiones vulnerables
  - Desarrollo e implementación de planes de contingencia
  - Desarrollo de modelos climáticos que ayuden a la planeación

[72] National Mission for Sustainable Agriculture

- Acceso a la información
  - Desarrollo de bases de datos sobre suelo, clima, patrones de uso de suelo, genotipos y recursos hídricos.
  - Monitoreo de glaciares, recursos hídricos, erosión de suelo e impactos en la agricultura de las zonas montañosas.
- Uso de biotecnología:
  - Uso de la ingeniería genética para pasar de cultivos C-3 a C-4.
  - Desarrollo de cultivos con uso eficiente de agua y nitrógeno
  - Desarrollo de estrategias nacionales para ganado

8. Creación de plataforma de conocimiento para el cambio climático

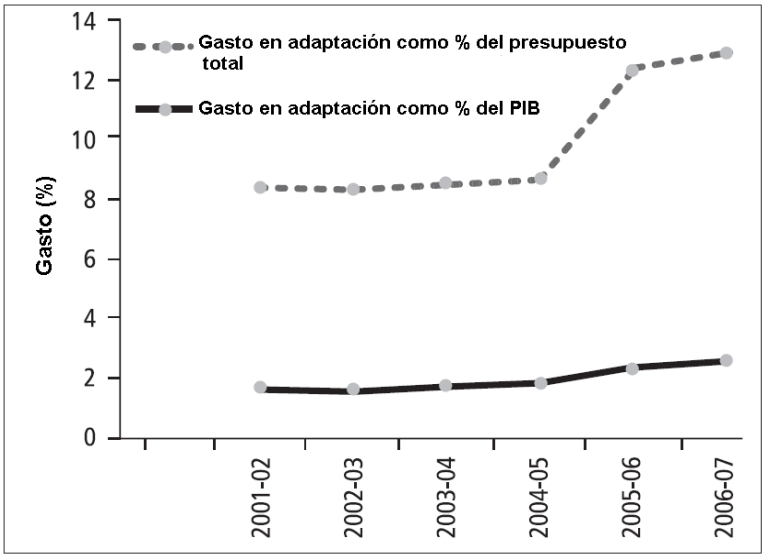
Se busca crear una agenda de investigación de los impactos sociales y económicos del cambio climático. Además de lograr un vínculo entre las universidades, institutos de investigación, y empresas privadas. Bajo esta misión se plantea crear el Fondo de Investigación Climático. Las medidas establecidas para esta misión son:

- Modelación y acceso de datos climáticos
- Fomentar la investigación para el desarrollo de modelos climáticos
- Facilitar acceso a la información y fortalecer las redes

Presupuesto

En el Plan de Acción Nacional sobre Cambio Climático se presenta el gasto que ha hecho el gobierno en programas de adaptación. En el periodo 2006-2007, el gasto gubernamental como porcentaje del PIB fue de 2.6%. Las principales áreas a las que se ha destinado el gasto son agricultura, recursos hídricos, salud y saneamiento, bosques, infraestructura costera y eventos climáticos extremos. En la Figura II.14 se puede observar el gasto como porcentaje del presupuesto total y del PIB desde 2001 a 2007.

Figura II.14 Gasto en programas de adaptación en India



Fuente: (NAPCC, 2008)

A través de las medidas planteadas en cada misión nacional, se busca lograr una eficiencia energética al pasar de una economía basada en combustibles fósiles a una de combustibles no fósiles. El Plan también especifica medidas de mitigación de orden más particular. En la Tabla II.20 se resumen las medidas:

Tabla II.20 Programas de mitigación de la India

Programa	Medida
Estructura de las políticas de mitigación	• Política Energética Integrada[73] o Promoción de eficiencia energética en todos los sectores o Énfasis del transporte masivo o Énfasis en energías renovables, incluyendo biocombustibles o Desarrollo de energía nuclear e hidroeléctrica o Investigación y desarrollo en tecnologías limpias de energía • Ley de Electricidad (2005), Política de Tarifas (2003), Acta reglamentaria de Petróleo y Gas Natural (2006), entre otras: o Competitividad de los mercados energéticos o Remover barreras de entrada y aumentar la competencia en la exploración, extracción, conversión, transmisión, y distribución de la energía primaria y secundaria. o Promover reforma fiscal para impulsar diversas opciones de combustibles o Aumentar y diversificar opciones energéticas, fuentes e infraestructura o Tarifas preferenciales para energías renovables. • Política de electrificación rural 2006: o Promover tecnologías renovables donde la conexión o el costo no lo hacen posible. • Política de Energía Renovable: o Promoción y desarrollo de fuentes de energías renovables • Política Nacional de Medio Ambiente

[73] Integrated Energy Policy

Folio No. 00175

Programa	Medida
Mitigación en el sector eléctrico	• Retiro de 10,000 MW de capacidad de plantas termoeléctricas obsoletas. • Fomento de plantas supercríticas y ultra supercríticas, IGCC, plantas de gas natural. • Incremento en la capacidad de generación nuclear de 800 MW. • Mejora en la transmisión y distribución de energía eléctrica • Aumento en la capacidad de generación de hidroeléctricas de 14,000 MW.
Programa de etiquetado para productos	• Introducción del Programa de Etiquetado para productos: lámparas tubulares flourescentes, aire acondicionado, refrigeradores y transformadores
Código para la conservación de energía en edificaciones	Diseñado para las nuevas edificaciones comerciales dependiendo de la zona. El objetivo es reducir de 30 a 40% el consumo energético.
Auditorias energéticas para consumidores de grandes industrias	Se plantean auditorias para 9 sectores industriales.
Transporte masivo	Política Nacional de Transporte Urbano: • Promover instalaciones para el transporte público, y transporte personal no motorizado.
Iniciativas de aire limpio	• Introducción de compresores de gas natural • Retiro de vehículos contaminantes • Fortalecimiento del transporte masivo
Promoción de dispositivos de ahorro de energía	• Programa de Iluminación con lámparas flourescentes
Promoción de biocombustibles	• Mandato de 5% de etanol en la mezcla con gasolina.

Fuente: Plan de Acción Nacional sobre el Cambio Climático, 2008

Folio No. 00176

II.9.2 Ley de Conservación de la Energía[74]

La ley se promulgo en 2001 con el objetivo de regular el consumo de energía y por lo tanto, controlar las emisiones de GEI. La ley especifica estándares de eficiencia para ciertas industrias. La siguiente tabla muestra las industrias involucradas y su estándar.

Tabla II.21 Estándares para la industria

Industria	Toneladas de petróleo equivalente por año
Estaciones de termoeléctrica	≤ 30000
Industria de fertilizantes	≤30000
Industria del cemento	≤30000
Industria del hierro y acero	≤30000
Industria del ferrocarril	≤30000
Industria de cloro y sosa	≤12000
Aluminio	≤7500
Industria textil	≤3000
Industria celulosa y papel	≤30000

Fuente: Plan de Acción para la Eficiencia Energética, 2008

La ley consta de varios planes para promover la eficiencia energética durante el periodo 2007-2012. Algunos son:

Programa de iluminación con lámparas flourescentes (Bachat Lamp Yojana Scheme)

El programa busca reemplazar los focos incandescentes por lámparas flourescentes en los hogares. El objetivo es reemplazar 400 millones de focos incandescentes para lograr una reducción en la demanda de electricidad de 6,000 MW, equivalente a reducir 24 $MtCO_2$ cada año (BEE, n.d.). Para lograrlo se utilizará el MDL como herramienta para cubrir el costo diferencial del precio de mercado de las lámparas flourescentes respecto a los focos.

Está diseñado por como un proyecto público y privado entre el gobierno de India, los oferentes de CFL focos y compañías de distribución de electricidad del estado[75] (BEE).

[74] Energy Conservation Act
[75] Según datos del Departamento de Eficiencia Energética son 14 compañías manufactureras las que participan.

Programa de estándares y etiquetas (Standards & Labeling Scheme)

Es un plan con resultados de largo y mediano plazo. El objetivo es proveer a los consumidores de información acerca del consumo energético de diferentes aparatos, y lograr un ahorro. Los aparatos que participan en el programa son: refrigeradores automáticos, lámparas flourescentes tubulares, aires acondicionados, refrigerador de enfriamiento directo, transformadores de distribución, equipo de bombeo para agricultura, motores de inducción, ventiladores de techo, estufas de GLP, televisiones de color.

Código de conservación de energía en edificaciones y programa de eficiencia energética en edificaciones

Estos programas se crearon para definir las normas de requerimiento de energía para las nuevas edificaciones. Se toma en cuenta las condiciones climáticas de la localización para las paredes, techos y ventanas, sistemas de iluminación, sistemas de distribución eléctrica, sistemas de calefacción. Con la implementación de estos planes se espera un ahorro de energía entre 23 y 46%.

Esquema de Manejo Municipal y Agrícola

Se busca implementar medidas para la reducción de consumo energético, mejora de la eficiencia en la extracción de agua, esquema de subsidios para los agricultores, reemplazo de bombas ineficientes, y una reducción de subsidio del agua en las comunidades, sin afectar el servicio. Con esto se espera reducir entre 45 y 50% de consumo de energía.

II.9.2.1 Departamento de Eficiencia Energética

El Departamento de Eficiencia Energética fue establecido en 2002 con la misión de asistir al desarrollo de las políticas y estrategias dentro del marco de la ley de conservación de energía. Las funciones del departamento son principalmente recomendaciones para el gobierno central en los siguientes temas:

- Normas para procesos y los estándares de consumo de energía.
- Estándares de consumo de energía y diseño de etiquetado para los equipos y aparatos.
- Códigos de conservación de energía en las edificaciones.
- Difusión de información sobre el uso eficiente de energía.
- Notificación de de cualquier usuario o grupo de usuarios de la energía como designado de los consumidores.

Folio No. 00178

Tabla II.22 Normatividad en materia de cambio climático, energía y medio ambiente de India

INDIA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Plan de Acción Nacional para el Cambio Climático	Multisectorial	Cambio Climático	2008
Declaración India-Brasil-Sudáfrica sobre energía limpia	Acuerdo Internacional	Cambio Climático	2007
Asociación Asia-Pacifico sobre desarrollo limpio y clima	Acuerdo Internacional	Cambio Climático	2005
Asociación Asia-Pacífico sobre desarrollo limpio y Clima	Políticas marco	Electricidad Otros	2006
Ley de conservación de energía	Políticas marco	Electricidad	2001
Política nacional de electricidad 2005	Generación de energía	Electricidad Energías renovables	2005
Tecnología para el suministro de electrificación rural -REST	Generación de energía	Energía renovable	2002
Programa de electrificación de comunidades remotas	Generación de energía	Energía renovable	2001
Declaración política de energía nueva y renovable 2005 –anteproyecto II	Políticas marco Generación de energía	Energía renovables	2005
Política energética integral	Políticas marco	Energías renovables	2005
Política nacional de electricidad 2005	Políticas marco Electricidad	Energías renovables	2005
Central de asistencia financiera (CFA) para las plantas de biogás	Generación de energía	Energías renovables	2004
10°plan de Energías renovables	Generación de energía	Energías renovables Nuclear	2002
Incentivos para la generación de energía eólica	Generación de energía	Energías renovables	2008

Folio No. 00179

INDIA			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	SECTOR	ENERGÍA	AÑO
Incentivos para la generación de energía solar	Generación de energía	Energías renovables	2008
Asistencia gubernamental para pequeñas centrales hidroeléctricas	Generación de energía	Energías renovables	2003
Asistencia gubernamental para el desarrollo de energía eólica	Generación de energía	Energías renovables	2002
Cooperación nuclear Estados Unidos-India	Generación de energía	Nuclear	2006
Integración de política energética	Políticas marco	Planeación Energética	2005
Alianza Estados Unidos-India para el piloto de tres ruedas impulsado por hidrógeno	Políticas marco	Planeación Energética	2005
Política de Hidrógeno- Anteproyecto	Política marco	Planeación Energética	2004
Programa de seguridad energética para comunidades rurales	Políticas marco	Planeación Energética	2004
Programa integrado de energía rural	Políticas marco	Planeación Energética	1980
Desarrollo de tecnología IGCC	Generación de energía	Planeación Energética	2002
Megaproyectos de energía	Generación de energía	Planeación Energética	2006
Ley de conservación de la energía, 2001	Generación de energía	Planeación Energética	2001
Premios a la conservación de la energía		Planeación Energética	
Código de construcción para la conservación de la energía	Eficiencia Energética	Planeación Energética	2007

Fuente: (AIE, 2010)

Folio No. 00180

II.10 Brasil

Brasil es uno de los países en desarrollo con mayor influencia en las negociaciones de cambio climático por ejemplo a iniciativa de este país se incluyó el Mecanismos de Desarrollo Limpio en el Protocolo de Kioto y diversas iniciativas que han perfilado la posición del mundo en desarrollo tales como su reciente participación en el Acuerdo de Copenhague. Después de India y China también es el país en desarrollo con mayor emisión de GEI. El problema fundamental del país son sus emisiones por cambios de uso de suelo, asociadas a la deforestación de uno de los mayores ecosistemas forestales del mundo, la amazonia brasileña. Es por ello que uno de los principales componentes de la estrategia de Brasil es el combate a la deforestación. Por lo que hace a su sector energético, Brasil tiene uno de los sectores menos intensivos en carbono, por la importante participación de las hidroeléctricas en su matriz energética y por su extenso programa de biocombustibles. Alrededor de 37% de la energía en Brasil proviene de fuentes renovables de energía. Por ello, a diferencia de la mayoría de los países, el sector energía contribuye únicamente con 17% de las emisiones GEI en el país, en contraste con el 55% que aporta el renglón de cambio en usos de suelo.

El gobierno de Brasil ha declarado que pretende cumplir con una meta aspiracional de reducir emisiones entre 36 y 39% para el 2020, considerando como escenario base la línea de emisiones conocida como de “negocio en marcha” (BAU, business as usual por sus siglas en inglés). Si se considera el nivel de emisiones de 2005, la meta equivale a una reducción de entre el 15 y 18%. Diversos analistas han considerado que es una meta ambiciosa al ser Brasil un país no Anexo I, en particular si se compara por ejemplo con el 14%-17% de reducción que se ha estado analizando en los Estados Unidos. Para cumplir el compromiso voluntario de reducción de emisión de gases de efecto invernadero el país ha establecido instrumentos normativos a nivel nacional para fortalecer sus acciones en la mitigación del cambio climático y ha establecido alianzas a nivel internacional para fortalecer su posición en las negociaciones internacionales. A continuación se presentan los instrumentos normativos más relevantes y se describen dichas alianzas brevemente.

II.10.1 Ley 12.187 Política Nacional de Cambio Climático

Este instrumento normativo se encuentra vigente a partir del año 2009 siendo de injerencia nacional. Tiene por objeto la reducción de emisiones antropogénicas y la aplicación de medidas para promover la adaptación al cambio climático. Los criterios básicos de acción de la política son la preservación, conservación, recuperación y rehabilitación de los recursos ambientales, la consolidación y expansión de las áreas protegidas legalmente y los incentivos para la reforestación, así como el fomentar el desarrollo del mercado de reducción de emisiones. En adición a instrumentos regulatorios, la política contempla mecanismos financieros y económicos, como son exenciones, incentivos y compensaciones.

II.10.2 Plan Nacional de Cambio Climático

El Plan Nacional de Cambio Climático fue puesto en marcha a partir del año 2008. Tiene como objetivos fundamentales establecer acciones de mitigación de gases efecto invernadero y la reducción en la deforestación de la Amazonia en un 50% para el año 2017. Asimismo, el Plan busca reducir el consumo de electricidad en un 10% para el año 2030, sustituir un millón de refrigeradores antiguos por año, durante diez años y reducir las

pérdidas en la distribución de la electricidad a un ritmo de 1000 GWh por año durante los próximos 10 años a partir de la implementación del Plan, que será implementado en etapas comenzando en 2009.

El Plan Brasileño tiene 7 líneas de acción principales de las que se derivan las acciones específicas listadas a continuación:

1. Aumentar la eficiencia energética
   - Política Nacional de Eficiencia Energética
   - Substituir el uso del carbón en las plantas de acero por charcoal, principalmente a través de la reforestación de áreas degradadas
   - Reemplazo de refrigeradores
   - Promoción de calentadores solares para reducir en 2200 GWH al 2015 el consumo de electricidad
   - Reemplazo del uso de HFC al 2040, evitando 1078 miles de millones de toneladas de CO_2 equivalente
   - Manejo de residuos sólidos urbanos con la mena te aumetnar en 20% el reciclaje al 2015
   - Mejorar las prácticas agrícolas en el sector cañero
   - Mejora en las prácticas ganaderas

2. Mantener una alta participación de la energía renovable en la matriz energética
   - Aumentar la cogeneración usando el bagazo de caña para generar un 11.4% del requerimiento nacional, en el orden de 136 TWh
   - Reducir las pérdidas no técnicas en la distribución de electricidad en 1000 GWh al año durante los siguientes 10 años
   - Aumento de 34,460 MW de capacidad en hidroeléctricas
   - Aumento en la energía eólica y biomasa

3. Promoción y mantenimiento de la participación de los biocombustibles en la matriz energética
   - Programa de zonificación del cultivo de la caña de azúcar
   - Estudios para mejorar la implementación de la meta de biodiesel referida en la Ley de biocombustibles
   - Plan Nacional de Agro-Energía
   - Promover el mercado internacional del etanol

4. Una reducción permanente de las tasas de deforestación y reducir a cero la tala ilegal

Implementación del registro público forestal
   - Sistemas de monitoreo terrestre
   - Sistemas de monitoreo satelital
   - Fondo de la Amazonia
   - Fondo Climático
   - Promoción de productos no maderables de los bosques

5. Eliminar la pérdida neta de la cobertura forestal en Brasil al 2015
   - Revisión de requerimientos bancarios a la actividad forestal
   - Recuperación de áreas degradadas en reservas y áreas de conservación

Folio No. 00182

- Programa de productos forestales para el sector energía con la participación del Servicio Nacional Forestal y el Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio Exterior
- Fondos para bosques públicos

6. Fortalecer las acciones intersectoriales para reducir la vulnerabilidad de la población
   - Recursos para la investigación
   - Medidas para aspectos de salud ambiental
   - Reforzar medidas de comunicación del riesgos
   - Recursos para preparación de emergencias y planes de respuesta
   - Creación de sistemas de alerta
   - Identificación de impactos ambientales del cambio climático y costos de adaptación
7. Fortalecimiento de la Red Climática
   - Aumentar la capacidad institucional y la coordinación de instituciones de investigación

II.10.3 Programa Nacional de Conservación de Energía (PROCEL)

Desde 1985, PROCEL ha financiado una serie de programas de uso eficiente de la electricidad, centrándose en la gestión de la demanda a través de la educación, el etiquetado y las normas de eficiencia obligatorias, entre otras medidas. (AIE, 2010)

Dentro de los objetivos de PROCEL destacan:

- Reducción de las pérdidas técnicas de las empresas de servicios públicos
- Uso racional de la energía
- Aumento de la eficiencia energética en los aparatos

Las medidas de dicho programa incluyen: etiquetado de producto para informar a los consumidores e inducir a los fabricantes a crear productos eficientes, diagnósticos y auditorías para evaluar el uso de la energía y su eficiencia; apoyo a tecnologías eficientes y productos, sustitución de lámparas incandescentes en el alumbrado público por lámparas de vapor de mercurio y vapor de sodio a alta presión dado que consumen 75% menos energía.

Promoción de la iluminación y electrodomésticos eficientes en viviendas, acciones para reducir la demanda de electricidad durante las horas pico, ofreciendo cursos de formación, seminarios y conferencias para los consumidores industriales y comerciales. PROCEL también proporciona financiamiento con bajo interés para proyectos de eficiencia energética.

II.10.4 Programa Nacional de racionalización del uso de los derivados del petróleo y del gas natural (CONPET)

El CONPET fue instituido por decreto federal en 1991, como Programa Nacional de la Racionalización del Uso de los Derivados del Petróleo y del Gas Natural. Su principal objetivo es incentivar el uso eficaz de fuentes de energía no renovables en el transporte, en las residencias, en el comercio, en la industria y la agropecuaria. El CONPET incluye los siguientes proyectos (Ministerio de Minas y Energía, 2010):

- Programa Petrobras: realiza el seguimiento del consumo de energéticos; inventario del potencial de reducción de gastos de energía; elabora proyectos de reducción de consumo; desenvolvimiento de acciones de concienciación y envolvimiento de todos los empleados en el proyecto.
- CONPET Proyecto Economizar: Trata de reducir en cerca de 13% el consumo de diesel, a través de las siguientes acciones:
    - Metodología de gestión del uso de los combustibles por los transportadores
    - Estado de los vehículos y rendimiento de los motores (teste de humo con opacímetro)
    - Prácticas de mantenimiento de los vehículos
    - Calidad del diesel consumido
    - Identificación de buenas prácticas adoptadas por las empresas que contribuyen para el aumento de la eficiencia del uso de diesel.
- Proyecto Transportar: Tiene como objetivo auxiliar a los transportadores de combustibles para reducir la emisión de humo negro, economizar diesel y mantener los camiones-tanque siempre en buenas condiciones, siguiendo los pasos que se mencionan a continuación:
- Proyecto Omnibus a Gas: Estimula el uso del gas natural en el transporte colectivo urbano y metropolitano.
- Programa de etiquetaje: Se etiquetan las especificaciones energéticas de algunos productos comercializados en Brasil para que el consumidor final evalúe la rentabilidad energética.

II.10.5 Ley 737-1938. Declara Obligatoria la Adición de Alcohol Anhidro a la Gasolina

Esta ley, vigente desde 1938 a nivel nacional, obliga a que el combustible que se comercializa y produce en Brasil este producido con un contenido mínimo de 23% de alcohol anhidro. La obligación atañe a los productores de gasolina, cualquiera sea el método o el proceso de fabricación de la misma, de adicionar alcohol anhidro de producción nacional.

II.10.6 Ley N°11.097. Dispone la introducción del biodiesel a la matriz energética brasileña

Este instrumento normativo se encuentra vigente a partir del año 2005, siendo su aplicación de índole nacional. En esta Ley se acordó que a partir del 1° de enero de 2010, el porcentaje mínimo de biodiesel presente en el combustible que se comercializa en Brasil, deberá ser de mínimo 5% en volumen.

II.10.7 Subastas de energía eólica y de energía generada con biomasa

Son instrumentos económicos vigentes, puestos en marcha a partir del año 2009 y 2008 respectivamente, siendo su aplicación de competencia nacional.El funcionamiento de este

Folio No. 00184

instrumento consiste en que los generadores de energías renovables disminuyen sus precios de venta del exceso de la energía renovable que pueden generar, mientras que las empresas que más logran rebajar sus precios de venta, son las que obtienen el mayor número de licitaciones. La subasta de energías permite a los productores vender el exceso de energía renovable a los distribuidores de energía y a compradores industriales y también sirve para proporcionar un incentivo hacia los productores para incrementar la producción de energía.

II.10.8 Programa de Incentivos a Fuentes Alternativas de Electricidad - PROINFA

PROINFA se encuentra vigente a partir del año 2002 y es de índole nacional. El programa se define con 2 etapas base:

- Etapa I: Generar 3.300 MW de energías renovables (energía eólica, biomasa y pequeñas centrales hidroeléctricas) la cual entró en funcionamiento a finales de 2007 basado en una Cuenta de Desarrollo de la Energía financiada por los consumidores finales a través de un aumento en las tarifas de energía (los sectores de bajos ingresos están exentos de este aumento).

- Etapa II: Aumentar cada año 10% de energía generada por las 3 fuentes de energías renovables y la expedición de un número de Certificados de Energía Renovable proporcional a la cantidad de energía limpia producida por la planta. (AIE, 2010).

II.10.9 Ley 9.991. Regula las inversiones en investigación y desarrollo de eficiencia energética para empresas concesionarias y autorizadas del sector de energía eléctrica y otras medidas.

La ley 9.991 indica que a partir del primero de enero de 2006, las distribuidoras de energía eléctrica están obligados a aplicar anual o mensualmente el 0.75% de sus ingresos netos para la investigación y desarrollo del sector eléctrico y por lo menos el 0.25% en programas de eficiencia energética. Este instrumento normativo entró en vigor a partir del año 2000, y es de carácter nacional. Las empresas generadoras por su parte están obligadas a aportar el 1% de sus ingresos netos para la investigación y desarrollo del sector eléctrico.

II.10.10 Declaración sobre Energía Limpia India-Brasil-Sudáfrica

La Declaración sobre Energía Limpia entró en vigor a partir del octubre de 2007, En una declaración emitida por los Presidentes Mbeki de Sudáfrica, Singh de la India y Lula da Silva de Brasil, se acordó que los países de India, Brasil, Sudáfrica (IBSA), trabajarán en común para garantizar un suministro seguro de energía sustentable y no contaminante para satisfacer la demanda mundial, particularmente en los países en desarrollo. (ESI-AFRICA.com The online power journal of Africa, n.d.)

La cooperación entre dichos países incluye la aplicación, desarrollo y comercialización de tecnologías para energías renovables. La Tabla II.23 muestra la normatividad existente en el país en materia de cambio climático y eficiencia energética.

Tabla II.23 Normatividad de Brasil sobre cambio climático y eficiencia energética

BRASIL			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Requisito obligatorio de Biodiesel (Ley 11.097)	Generación de energía	Biocombustibles	2008 (modificada 2009 y 2010)
Ley 737-938. Declara obligatoria la adición de alcohol anhidro a la Gasolina	Transporte	Biocombustibles	1938
Ley 11.097. Dispone la introducción de biodiesel a la matriz energética brasileña	Multisectorial	Biocombustibles	2005
Política Nacional de Cambio Climático (Ley 12.187)	Políticas Marco	Cambio Climático	2009
Plan Nacional de Cambio Climático	Generación de energía	Cambio Climático	2008
Comisión Interministerial de Cambio Climático Global - CIMGC	Políticas marco Generación de energía	Cambio Climático	1999
Reducción de impuestos de productos industrializados	Transporte	Combustibles fósiles	1993
Proyecto de Petrobras autobús a gas natural - CONPET	Transporte	Combustibles fósiles	2003
Programa nacional de racionalización del uso de los derivados del petróleo y del gas natural-CONPET	Políticas marco Industria Transporte	Combustibles fósiles	1991
Programa nacional de electrificación rural	Industria Generación de energía	Combustibles fósiles Energías renovables	1999
Programa de etiquetado de cocinas y calentadores a gas- CONPET	Residencial	Combustibles fósiles	2002
Ley de eficiencia energética (Ley 10.295)	Políticas marco	Combustibles fósiles	2001
Proyecto GEF/BID/PNUD para edificaciones sustentables	Asistencia internacional	Edificaciones	2006

Folio No. 00186

BRASIL			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Programas de eficiencia energética de la concesionarias distribuidoras-PEE	Generación de energía	Electricidad	
Programa nacional de conservación de energía eléctrica - PROCEL	Políticas marco	Electricidad	1985
Programa nacional de alumbrado público eficiente - Reluz	Generación de energía	Electricidad	2000
Programa Luz para todos	Políticas marco	Electricidad	2003
Programa colaborativo para el etiquetado y la normalización en equipos de uso domestico -CLASP	Residencial	Electricidad	1993
Programa Brasileño de etiquetado (voluntario) - PBE	Políticas marco	Electricidad Energía renovable	1984
Pro-eólica	Generación de energía	Electricidad	2001
Subastas de energía eólica y de energía generada con biomasa	Generación de energía	Energías renovables	2008
Programa nacional de desarrollo energético de estados y municipios-PRODEEM	Generación de energía	Energías renovables	1996
Programa de incentivos para el calentamiento solar en el municipio de Sao Paulo	Industria	Energías renovables	
Programa de incentivo para fuentes alternativas de electricidad-PROINFA	Generación de energía	Energías renovables	2002
Programa de incentivo al calentamiento solar de agua	Residencial	Energías renovables	2006
Programa Brasileño de desarrollo tecnológico para biodiesel-PROBIODIESEL	Transporte	Energías renovables	2004
Ley de energía solar térmica	Residencial	Energías renovables	
Iniciativa Brasileña de energía	Políticas marco	Energías renovables	2002

Folio No. 00187

BRASIL			
NOMBRE DE LA DIRECTIVA	**SECTOR**	**ENERGÍA**	**AÑO**
Evaluación de los recursos de energía solar y eólica - SWERA	Políticas marco	Energías renovables	2001
Declaración sobre Energía Limpia India-Brasil-Sudáfrica	Generación de energía	Energías renovables	2007
Cuenta de desarrollo energético - CDE	Generación de energía	Energías renovables	2002
Política nacional de eficiencia energética - PNEE		Planeación Energética	
Plan nacional de energía 2030		Planeación energética	2006

Fuente: (AIE, 2010)

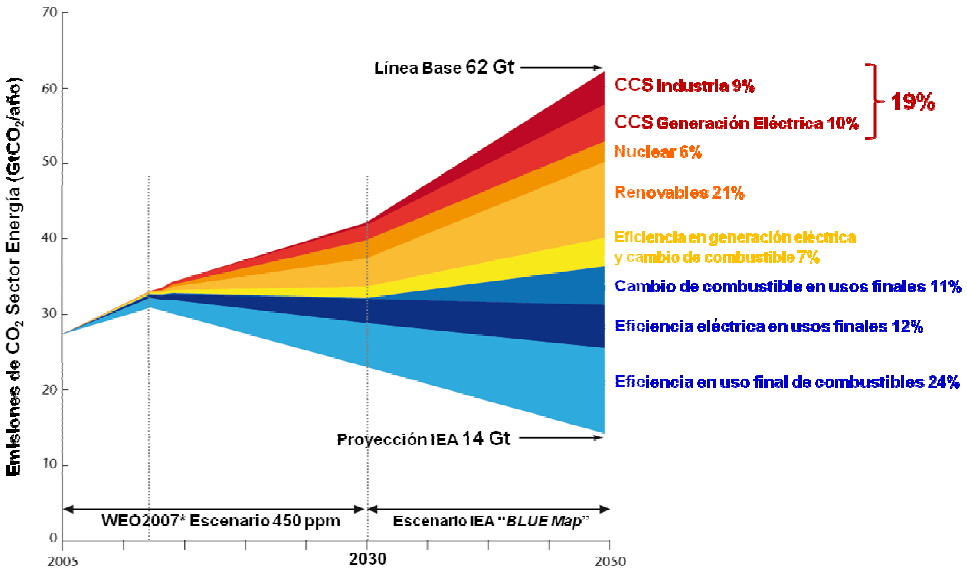
Folio No. 00188

III Estado del Arte de Tecnologías de Captura y Almacenamiento Geológico de Carbono

III.1 Antecedentes

La industria enfrenta el gran reto de disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para contribuir a enfrentar el calentamiento global. Para ello, es necesario recurrir a tecnologías existentes que permitan seguir utilizando combustibles fósiles y lograr un desarrollo sustentable. En la actualidad, la captura y almacenamiento geológico de CO_2 es una opción tecnológica que está siendo desarrollada en diversos países del mundo. De acuerdo con estudios y reportes de organismos internacionales como el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC, *por sus siglas en inglés*), la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el Instituto de Recursos Mundiales (WRI *por sus siglas en inglés*) y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, *por sus siglas en inglés*) esta tecnología representa una vía sustentable para capturar CO_2 de procesos industriales, en especial en la generación de electricidad, y proceder a su almacenamiento en formaciones geológicas que lo contenga por un largo periodo de tiempo (ver Figura III.1).

Figura III.1 Contribución de tecnologías para reducir las emisiones de CO_2.



Fuente: (Agencia Internacional de Energía, 2008)

A la fecha, existen en operación cuatro proyectos a escala comercial de captura y almacenamiento geológico de carbono. Tres de ellos capturan el CO_2 a partir del gas natural extraído y lo almacenan en formaciones salinas (Sleipner, Snøhvit, Noruega) o campos agotados de gas natural (In Salah, Argelia). Uno de ellos, en Weyburn-Midale, Canadá, utiliza el CO_2 generado y capturado en una planta de producción de combustibles

sintéticos a partir de la gasificación de carbón en Dakota del Norte, Estados Unidos; para operaciones de recuperación mejorada de petróleo (EOR, *por sus siglas en inglés*).

De acuerdo con el Foro de Liderazgo en Almacenamiento de Carbono (CSLF), en el que participan 21 países y la Comisión Europea, existen 117 proyectos de captura y almacenamiento geológico de carbono en diferentes partes del mundo, los cuales se encuentran en distintas fases de desarrollo como se muestra en el anexo 2 de este documento. México es miembro desde el año 2003 del CSLF y se ha comprometido a colaborar con el desarrollo y aplicación de esta tecnología, para la cual debe de haber aplicaciones de escala industrial antes del 2013.

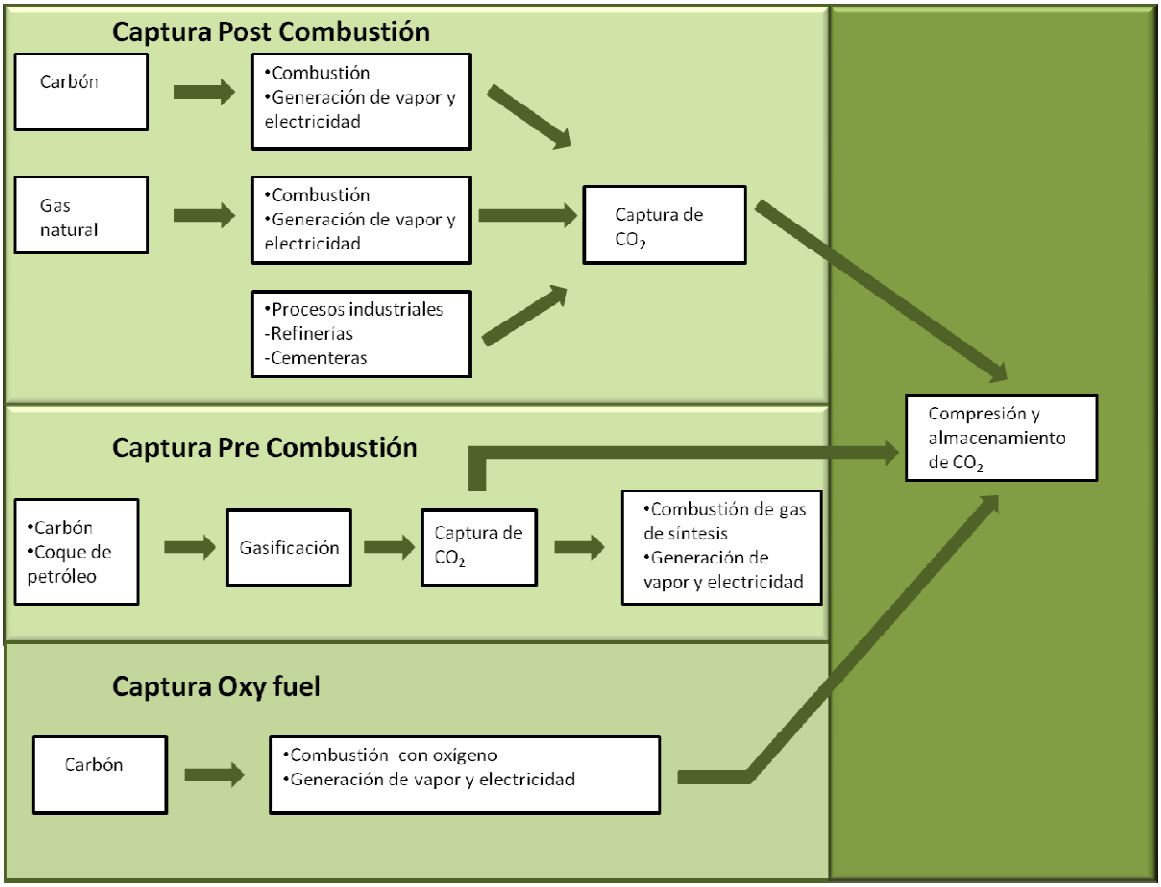
En los últimos años, en México se han realizado diversos esfuerzos para evaluar el potencial de la captura y almacenamiento geológico de CO_2. De acuerdo al estudio denominado *Estrategias de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Eléctrico. Estudios Sectoriales de Mitigación de Cambio Climático* realizado por el Centro Mario Molina para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en México podría existir la posibilidad de generar hasta 7,000 MW con plantas de ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC) y supercríticas con captura y almacenamiento geológico de CO_2, hacia el año 2030, es decir, el 8% de la capacidad instalada y requerida para ese entonces (110,461 MW).

Folio No. 00190

III.2 Procesos industriales emisores de CO_2

El reto tecnológico que enfrenta la industria para reducir sus emisiones de GEI puede ser superado a través de la captura y almacenamiento geológico de CO_2 que es un compuesto generado en distintos procesos. Existen varios proyectos demostrativos que tienen como objetivo la generación de electricidad libre de emisiones de CO_2. A pesar de que no se ha probado la captura de CO_2 en otros sectores, diversos estudios han considerado su aplicación en la industria del cemento o en el sector petróleo y gas. (Ver Figura III.2).

Figura III.2 Esquema de las tecnologías de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.



Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

Folio No. 00191

III.2.1 Sector eléctrico

La generación de electricidad corresponde al 40% de las emisiones globales de CO_2 y en la actualidad se consideran diferentes procesos basados en la quema de carbón o gas natural que aprovecharían las tecnologías de captura y almacenamiento geológico de CO_2. Los principales procesos considerados para la generación de electricidad incluyen plantas de carbón pulverizado (PC), de gas natural en ciclo combinado (NGCC), de ciclo combinado con gasificación integrada y oxy-fuel.

III.2.1.1 Plantas de carbón pulverizado

A nivel mundial, las emisiones relacionadas con la quema de carbón para la generación de electricidad corresponden a 7.9 $GtCO_2$, constituyendo el 70% de las emisiones totales del sector. La quema de carbón representa la tecnología más empleada en el mundo y países como Estados Unidos y China cuentan con grandes reservas de carbón. Las plantas carboeléctricas utilizan carbón finamente molido para quemarlo con aire y así generar energía que es posteriormente aprovechada para la generación de vapor. Este vapor acciona turbinas que acopladas a generadores finalmente generarán electricidad. Los gases de combustión generados son tratados antes de ser enviados a la atmósfera, removiendo contaminantes como SO_x, NO_x y partículas.

La combustión se da a través de varios pasos y comienza con el calentamiento de las partículas y la remoción de humedad. En este proceso, existe la combustión de compuestos volátiles, así como de char. La quema de carbón también causa la transformación de azufre contenido en el carbón a SO_2. En la industria, los equipos en los que se lleva a cabo la transformación química del carbón se diseñan a partir de las características del mismo y de las necesidades del proceso. Los procesos existentes para la quema de carbón varían en el tamaño de carbón que utilizan y en las aplicaciones de los mismos. La

Folio No. 00192

Tabla III.1 Clasificación de los procesos de combustión.

Sistema de combustión de carbón	Características
Lecho fijo	Dentro de las aplicaciones de este sistema, se encuentran calentadores domésticos, gasificación subterránea y fogones industriales. Los fogones industriales se utilizaron para quemar carbón desde el siglo XVIII. Los fogones se clasifican generalmente en tres tipos dependiendo de la manera en la que el combustible llega a la superficie que contiene el carbón y permite que el aire de combustión llegue al lecho combustible. 1) Sobre el lecho de alimentación. El carbón se alimenta sobre el lecho y fluye hacia abajo a medida que reacciona. El aire fluye hacia arriba. 2) Abajo del lecho de alimentación. El flujo de carbón y la combustión son paralelos y generalmente hacia arriba. Se utilizan principalmente para quemar carbón en calderas pequeñas produciendo pequeñas cantidades constantes de vapor menores a 30,000 lb/hr. 3) Espreado. El carbón se mueve horizontalmente y el aire de combustión se mueve hacia arriba y en ángulo recto con respecto al combustible. Este es el tipo más popular debido a que es capaz de quemar carbón de diferentes rangos, así como combustibles de desecho. Este fogón es adecuado para procesos industriales en los que se tienen fluctuaciones rápidas de cargas.
Lecho fluidizado	Es una tecnología atractiva debido a que presenta varias ventajas con respecto a los sistemas convencionales como la flexibilidad de combustible, bajas emisiones de NO_x, y control in situ de emisiones de SO_2. Esta tecnología fue estudiada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y para 1996 representaban 4,952 MW de capacidad instalada en ese país. En un sistema de lecho fluidizado típico, combustibles sólidos, líquidos y gaseosos se mantienen suspendidos a través de la acción del aire de combustión distribuido debajo del piso del quemador. Este sistema de combustión aumenta la turbulencia y permite la combustión a temperaturas más bajas. La temperatura que se alcanza en este sistema no permite reacciones de formación térmica de NO_x, además de que absorbentes como el $CaCO_3$ capturan SO_2. La característica que distingue a distintos equipos de lecho fluidizado es la velocidad del aire que pasa por la unidad. 1) Lecho fluidizado burbujeante (BFB). Se tienen velocidades entre 4 y 12 ft/s y manejan partículas con un tamaño promedio entre 1,000 y 1,200 µm. 2) Lecho fluidizado circulante (CFB). Se maneja una velocidad alrededor de 30 ft/s y partículas

Folio No. 00193

Sistema de combustión de carbón	Características
	con un tamaño promedio entre 100 y 300 µm.
Suspensión	El método preferido utilizado para generar electricidad es la combustión de carbón pulverizado, debido a que estos sistemas pueden ser construidos a gran escala y pueden quemar virtualmente cualquier tipo de carbón. Después de que el carbón es pulverizado, éste se transporta con parte del oxígeno que se utiliza para quemarlo. Las unidades de carbón pulverizado se clasifican típicamente en hogar de fondo seco y hogar de fondo húmedo. La clasificación está basada en el diseño del hogar y la manera en la que se remueve la ceniza. 1) Hogar de fondo seco. Son el tipo más común en los Estados Unidos y en ellos se remueve ceniza seca. Son fáciles de operar y más flexibles en cuanto a las propiedades del combustible. 2) Hogar de fondo húmedo. En este tipo se remueve ceniza fundida. La ventaja de estos equipos es la facilidad para manejar y eliminar la ceniza. Dentro de las desventajas, se encuentra la reducción de la eficiencia de caldera, menor flexibilidad de combustibles, mayor corrosión y ensuciamiento, y mayores niveles de NO_x. Dentro de estos equipos se encuentran los hogares de ciclón, que consisten en dos etapas, pero que no están clasificados como equipo de combustión en suspensión debido a que la mayor parte del carbón se quema en una capa de escoria.

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009).

Folio No. 00194

Los sistemas de combustión mencionados anteriormente pueden ser operados a distintas condiciones, lo que da como resultado diferentes condiciones de temperatura y presión del vapor que se obtiene, así como diferentes eficiencias. La Tabla III.2 muestra estas condiciones.

Tabla III.2 Condiciones de operación.

Operación de plantas de carbón pulverizado (PC)	Condiciones
Subcrítica	La operación subcrítica sigue el principio básico de operación de plantas de carbón pulverizado. Los gases que salen de la chimenea poseen entre 10 y 15% de CO_2. La característica principal de la operación subcrítica está basada en las condiciones de presión y temperatura del vapor. La presión en esta operación, es menor a 22.0 MPa (~3,200 psi), mientras que la temperatura es alrededor de 550℃ (1025℉). La eficiencia de las plantas que operan de esta manera tienen una eficiencia típica de 33 a 37% (PCS).
Supercrítica	La operación supercrítica involucra presiones y temperaturas del vapor generado de 24 MPa (3530 psi) y 565℃ (1050℉) respectivamente. El aumento e n la presión y temperatura se logra mandando el vapor expandido en la turbina directamente a la caldera para ser recalentado. La eficiencia en esta operación aumenta con respecto a la operación subcrítica y es alrededor de 37 – 40%.
Ultrasupercrítica	La mejora en tecnología y materiales ha permitido la generación de vapor a condiciones mayores a las mencionadas anteriormente. Las plantas ultra supercríticas operan generando vapor a presión y temperatura muy altas, del orden de 32 MPa (4640 psi) y 600 – 601℃ (1112 – 1130℉). Actualmente existen plantas ultra supercríticas en Japón y Europa.

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

III.2.1.2 Ciclo combinado de gas natural (NGCC)

Las plantas de ciclo combinado de gas natural son otra opción ya que representan el 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. El ciclo combinado presenta rendimientos superiores (mayor a 55%) a los rendimientos obtenidos por ciclos simples (35 – 36%), además de que genera una menor cantidad de gases contaminantes (Treviño, Manuel, 2003). Este proceso se caracteriza por ser de los más limpios ya que las emisiones de NO_x y de SO_2 son bajas. Las emisiones de NO_x pueden ser controladas a través de la relación aire/combustible de la turbina de gas o en algunos casos, utilizando sistemas SCR para la remoción de SO_2.

Folio No. 00195

En estas plantas, el gas natural se mezcla con el aire y se quema en la cámara de combustión de la turbina. La turbina de gas aprovecha la expansión del fluido y a través de un generador acoplado a si eje, se genera electricidad. A diferencia de un sistema de quema sin ciclo combinado, los gases que salen de la turbina de gas, son aprovechados a través de un generador de vapor por recuperación de calor (HRSG). En este equipo se genera vapor que acciona una turbina de vapor que genera una cantidad adicional de electricidad. El condensado producto de la turbina de vapor se recircula al generador de vapor. Existen diversas configuraciones para ciclos combinados y éstas dependen del número de equipos presentes en la planta y de la disposición de los ejes de las turbinas de gas y de vapor (Centro Mario Molina, 2009).

III.2.1.3 Ciclo Combinado con Gasificación Integrada (IGCC)

La gasificación ha sido utilizada para la producción de combustibles sintéticos así, como para la generación de H_2 utilizado en procesos de refinación de petróleo. Recientemente, se ha propuesto a la gasificación como una alternativa a la generación de electricidad limpia. Las plantas IGCC están formadas por cuatro bloques principales que incluyen la isla de gasificación, la unidad de fraccionamiento de aire (ASU), los sistemas de remoción de contaminantes y el ciclo combinado. El ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC) utiliza un combustible sólido o líquido que es oxidado parcialmente bajo presión para generar gas de síntesis (H_2 y CO) que a su vez es quemado por turbinas de gas que están integradas a un ciclo combinado como el explicado en el apartado anterior. El gas de síntesis se pasa a través de equipos de remoción de contaminantes y se prepara para su entrada a la turbina de gas. El equipo de gasificación utiliza oxígeno que proviene de una unidad de fraccionamiento de aire (ASU) que puede trabajar conjuntamente con la turbina de gas.

La esencia de este proceso es la gasificación y dentro del gasificado se llevan a cabo una serie de reacciones químicas distinguiéndose tres procesos principales: pirolisis, combustión y gasificación. La materia prima que entra al reactor pierde su humedad y sufre una descomposición térmica llamada pirolisis. Se forma un residuo carbonoso llamado char y se liberan compuestos volátiles, que dependiendo de la naturaleza de la materia prima, pueden incluir H_2O, H_2, N_2, O_2, CO_2, CH_4, H_2S, NH_3, C_2H_6 y pequeñas cantidades de hidrocarburos insaturados como acetilenos, olefinas, aromáticos y alquitrán. La gasificación es resultado de las reacciones entre los productos de combustión (CO_2, H_2O) y el char (Centro Mario Molina, 2009). Los equipos de gasificación pueden clasificarse con base en el régimen de flujo en equipos de lecho fijo, de lecho fluidizado y de lecho arrastrado. A nivel internacional, el proceso más utilizado es el de lecho arrastrado y en la siguiente tabla se muestran las plantas que existen en la actualidad, además de sus características.

Folio No. 00196

Tabla III.3 Proyectos demostrativos a nivel internacional para la generación de energía eléctrica a partir de diversas tecnologías.

Planta	Localización	Combustible	Capacidad instalada (MW)	Inicio de operaciones	Proceso de gasificación	Unidad de fraccionamiento de aire (ASU)	Limpieza de gas	Turbina de gas / Turbina de vapor
ELCOGAS	Puertollano España	Coque de petróleo / Carbón	300	1996	Prenflo	- Oxígeno con pureza del 85% - Nitrógeno con pureza del 99.99%. Transporte del combustible al gasificador - Nitrógeno de 98% de pureza. Preparación del gas de síntesis	- Lavado de gases ácidos con agua - Desulfuración: Reactor catalítico de hidrólisis de COS - Remoción de gas ácido - Recuperación de azufre: Planta Claus	Turbina de gas Siemens V94.3 / Turbina de vapor Siemens K30 - 16 - 1
Tampa Electric	Lakeland (Florida), Estados Unidos	Carbón	250	1996	Texaco	- Oxígeno con pureza de 95% - Nitrógeno comprimido para la turbina	- Agua para remover partículas - Hidrólisis de COS - Remoción de gas ácido - Planta de ácido sulfúrico	Turbina de gas General Electric MS 7001FA
Wabash River	Wabash River (Indiana), Estados Unidos	Coque de petróleo / Carbón	262	1995	Tecnología E- Gas	- Oxígeno con pureza de 95% - Nitrógeno comprimido para la turbina de gas	- Remoción de partículas: Sistema de filtros metálicos de tipo vela - Hidrólisis de COS - Remoción de gas ácido - Recuperación de azufre: Unidad Claus de producción de azufre	Turbina de gas General Electric MS 7001FA

Folio No. 00197

Planta	Localización	Combustible	Capacidad instalada (MW)	Inicio de operaciones	Proceso de gasificación	Unidad de fraccionamiento de aire (ASU)	Limpieza de gas	Turbina de gas / Turbina de vapor
ISAB Energy	Priolo (Sicilia), Italia	Asfalto	512	1999	Texaco	- Oxígeno con pureza del 95%	- Sistema de aguas grises para remover partículas - Reactor para la conversión de COS y columna absorbedora de azufre que utiliza MDEA - Unidad de recuperación de azufre y tratamiento de gas de cola (producción de azufre elemental)	Turbina de gas Siemens V94.2
Sarlux	Sardinia, Italia	Asfalto, Residuo de vacío, residuo viscoso reducido al vacío	548	2000	Texaco		- Sistema de aguas grises para remover partículas - Reactor para la conversión de COS y columna absorbedora de azufre que utiliza Selexol - Unidad de recuperación de azufre y tratamiento de gas de cola (producción de azufre elemental)	Turbina de gas General Electric MS 9001E
NUON Buggenum	Limburg (Buggenum), Holanda	Carbón	253	1994	Shell		- Ciclón y filtros cerámicos de alta presión y temperatura - Sistema depurador con agua - Unidad de conversión catalítica de COS/HCN - Remoción de gas ácido con Sulfinol – M - Planta Claus y sistema de tratamiento de gases Shell Claus	Turbina de gas Siemens V94.2 / Turbina de vapor KN

Folio No. 00198

Planta	Localización	Combustible	Capacidad instalada (MW)	Inicio de operaciones	Proceso de gasificación	Unidad de fraccionamiento de aire (ASU)	Limpieza de gas	Turbina de gas / Turbina de vapor
Nakoso Mitsubishi Heavy Industries	Iwaki (Fukushima), Japón	Carbón	220	2007	Mitsubishi Heavy Industries. A diferencia de los demás procesos, éste opera con aire	- Nitrógeno: Transporte de combustible al gasificador - Oxígeno para enriquecimiento de aire - Unidad un 20 – 25% más pequeña comparada a otras unidades	- Remoción de partículas: Ciclones y filtros de poro - Sistema de conversión de COS - Remoción de gas ácido - Unidad de recuperación de azufre: Producción de $CaSO_3$	Turbina de gas modificada M701DA. Mitsubishi Heavy Industries LTD

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

Folio No. 00199

III.2.1.4 Plantas oxy-fuel

Un nuevo proceso que está siendo probado para la generación de electricidad y la captura y almacenamiento geológico de CO_2, es la combustión de carbón utilizando oxígeno en lugar de aire. El proyecto demostrativo en Schwarze Pumpe (Alemania), utiliza esta tecnología generando 30 MW. El proceso consta de una caldera que utiliza oxígeno con una pureza del 95% para quemar carbón. Las partículas y el azufre que contienen los gases que salen de la caldera se remueven y el gas limpio se comprime para condensar el H_2O y así tener CO_2 listo para ser transportado e inyectado al subsuelo. La Tabla III.4 resume los aspectos más importantes del proyecto.

Tabla III.4 Características principales del proyecto Schwarze Pumpe.

Datos principales del proyecto	
Localización	Schwarze Pumpe, Alemania
Empresa	Vatenfall
Capacidad instalada (MW)	30
Año de inicio del proyecto	2008
Vida del proyecto (años)	10
Combustible	Lignito y carbón duro
Consumo de carbón (t/h)	Precipitación electrostática (ESP)
Consumo de oxígeno (t/h)	Desulfuración en húmedo
Producción de CO_2 (t/h)	5.2
Sistema de remoción de partículas	10
Sistema de remoción de azufre	9

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

III.2.2 Sector cemento

La producción de cemento es responsable por aproximadamente el 22% de las emisiones totales de CO_2 de la industria. El cemento es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea sólo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad (CANACEM, 2010). El cemento portland es una mezcla de silicato dicálcico ($2CaO•SiO_2$) y tricálcico ($3CaO•SiO_2$) y pequeñas cantidades otros compuestos como sulfato de calcio ($CaSO_4$), óxidos de magnesio, hierro y aluminio, y aluminato tricálcico ($3CaO•Al_2O_3$). El cemento se produce a partir de una mezcla de carbonato de calcio ($CaCO_3$), óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). Esta mezcla se introduce a un horno rotatorio, en donde se llevan a cabo las reacciones químicas que darán lugar a un producto intermedio llamado clínquer. La temperatura del horno llega a ser hasta de 1450℃ y en este equipo se lleva a cabo la producción de CO_2 a partir del carbonato cálcico y el calor.

La corriente de gases producto de la combustión y de las reacciones de producción de clínquer posee una concentración alta de CO_2 (15-30%) (IPCC, 2005), así como una

Folio No. 00200

temperatura alta. Los métodos propuestos para la captura de CO_2, involucran el uso de absorbentes químicos y físicos post-combustión, y membrana, así como el uso de combustión oxy-fuel como alternativa para la captura de CO_2 en la producción de cemento

III.2.3 Sector petróleo y gas

De acuerdo con la IEA, existen 638 refinerías a nivel mundial que producen aproximadamente 801 $MtCO_2$ al año. La IEA realizó un análisis de los procesos de transformación de crudos que podrían ser equipados con la tecnología de captura de CO_2. Estos procesos incluyen la destilación, reformación, hidrogenación y craqueo. Las diferentes necesidades y productos de los procesos antes mencionados constituyen fuentes de emisiones de CO_2. Los reformadores, el equipo de craqueo catalítico y las unidades de destilación a vació, pueden ser equipadas con unidades de cogeneración con captura de CO_2. Asimismo, los calentadores de la refinería podrían incorporar la captura post-combustión. Existen algunas refinerías que utilizan la tecnología IGCC para producir electricidad e hidrógeno. Un ejemplo es la planta IGCC ISAB Energy, que utiliza asfalto como combustible y está acoplada a la segunda refinería más grande de Italia. Otro ejemplo corresponde a la planta IGCC Sarlux que está acoplada a la refinería Saras SpA, en Italia, y que procesa residuos de petróleo para producir hidrógeno y electricidad.

Los procesos antes mencionados, se presentan como opciones con potencial de tener bajas emisiones de GEI, por lo que su estudio y el estudio de los procesos de captura que pueden ser acoplados a ellos, son de gran importancia para llevar a México hacia una ruta de bajo carbono.

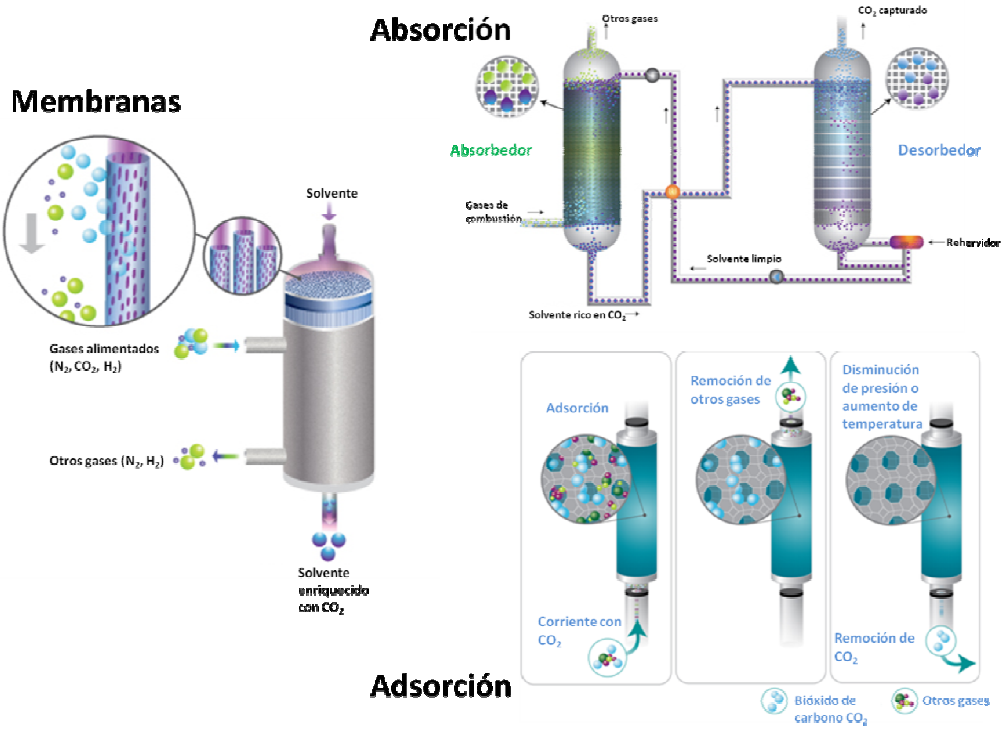
Folio No. 00201

III.3 Tecnologías para la captura de CO_2

La captura de CO_2 a partir de los procesos antes mencionados, consiste en utilizar un método de separación (absorción, adsorción o a través de membranas) para la remoción de CO_2 de las corrientes de proceso que lo contienen. De acuerdo con la posición de la captura en el proceso, ésta se puede clasificar en captura post-combustión, pre-combustión y oxy-fuel. Actualmente se explora la posibilidad de utilizar ciclos químicos para proporcionar el oxígeno a los procesos de oxidación parcial o total de combustibles y obtener corrientes puras casi puras de CO_2 como en el caso de la captura oxy-fuel. La captura post-combustión se caracteriza por capturar el CO_2 a partir de los gases producto de la combustión. A diferencia de la captura post-combustión, la captura pre-combustión captura el CO_2 antes de que la corriente gaseosa sea quemada. La captura oxy-fuel no requiere la adición de una etapa adicional de captura, ya que se obtiene una corriente de CO_2 (ver Figura III.3).

A nivel internacional existen diferentes proyectos que incluyen la utilización de estos métodos con diferentes niveles de progreso. Existen tecnologías que están siendo probadas a nivel comercial, como los solventes a base de aminas o que se encuentran a nivel piloto como el uso de carbonato de amonio. Una gran variedad de tecnologías de punta se encuentra bajo desarrollo a nivel laboratorio, y en el siguiente esquema se presenta el estatus actual de cada una de las tecnologías, además de rutas que podrían acelerar su desarrollo (ver Figura III.4).

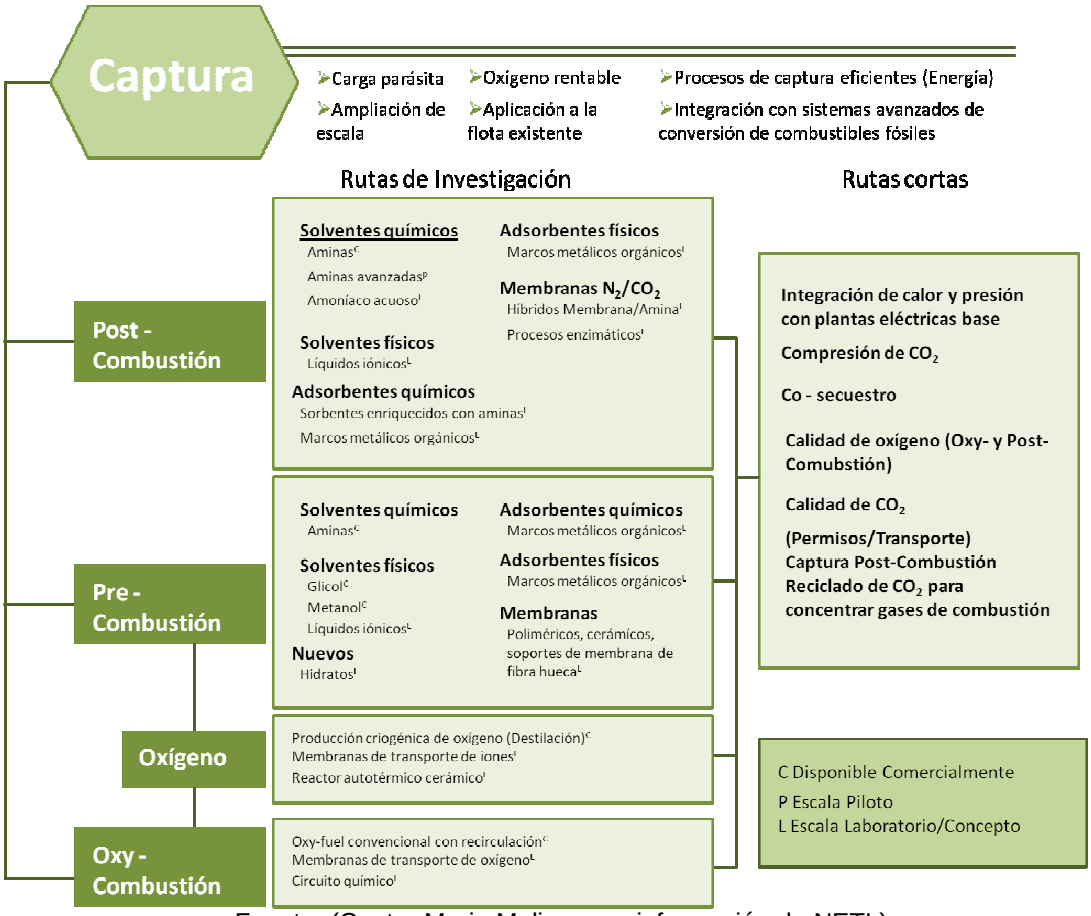
Figura III.3 Ilustraciones de tecnologías de captura.



Fuente: (Centro Mario Molina, con imágenes de CO_2 CRC, 2010)

Folio No. 00202

Figura III.4 Estatus de diversas tecnologías de captura de CO_2.



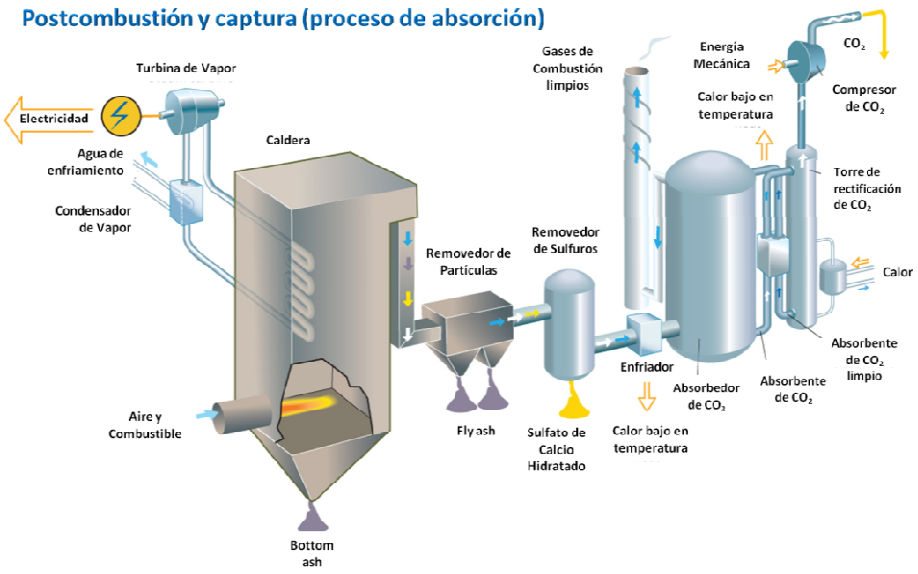
Fuente: (Centro Mario Molina, con información de NETL)

III.3.1.1 Captura post-combustión

La captura post-combustión puede ser realizada en procesos de generación de electricidad (carbón pulverizado y gas natural), así como en procesos de producción de cemento y en refinación de petróleo. La tecnología que ha sido más utilizada es la absorción química con solventes químicos. Las aminas han sido dichos solventes, pero existen también nuevas opciones que están siendo probadas a nivel piloto como el carbonato de amonio. Se ha promovido el desarrollo de nuevos métodos de captura post-combustión y por el momento siguen en la fase de investigación a nivel laboratorio (ver Figura III.5).

Folio No. 00203

Figura III.5 Diagrama de captura post-combustión.



Fuente: (Vattenfall, 2010)

Absorción

La absorción utiliza solventes para remover el CO_2 de las corrientes de procesos por medio de contacto directo. Los solventes pueden ser físicos o químicos y la diferencia radica en el hecho de que en la absorción química, el solvente reacciona químicamente con el CO_2, formando un compuesto intermedio; mientras que en la absorción física, no se forma ningún compuesto intermedio puesto que no hay reacción. Una vez que los solventes capturan el CO_2, éste debe de ser removido del solvente, por lo que se utilizan equipos de calor. Se obtiene una corriente de CO_2 y el solvente limpio se recircula al proceso. La selección del solvente de captura dependerá de las necesidades del proceso, pero se busca que la rapidez de reacción entre el solvente y el CO_2 sea grande, además de que la energía de desorción sea baja.

Algunos procesos utilizados para la captura de CO_2 a través de absorción física o química han sido utilizados desde hace 50 años para la producción de combustibles sintéticos y el tratamiento de gas natural. Existen otros procesos que están siendo investigados, o que se encuentran en fase de prueba. Los solventes utilizados para la captura de CO_2 se clasifican en físicos, químicos y químico/físicos. La Tabla III.5 muestra los solventes utilizados en la industria.

Folio No. 00204

Tabla III.5 Solventes utilizados para absorción.

Tipo de solvente	Nombre del Solvente	Tipo de solvente	Condiciones de proceso
Solventes físicos	Rectisol	Metanol	-10/-70℃, >2 MPa
	Purisol	n-2-metil-2-pirolidona	-20/+40℃, >2 MPa
	Selexol	Dimetil éter de polietilenglicol	-40℃, 2 – 3 MPa
	Solvente Fluor	Propilen carbonato	Temperaturas debajo de la ambiental, 3.1 – 6.9 MPa
Solventes químicos	MEA	2,5n Monoetanolamina e inhibidores	40℃, Presiones intermedias – ambiente
	Amine guard	5n Monoetanolamina e inhibidores	40℃, Presiones intermedias – ambiente
	Econamine	6n diglicolamina	80 – 120℃, 6.3 MPa
	ADIP	2-4n diisopropanolamina 2n metildietanolamina	35 – 40℃, > 0.1 MPa
	MDEA	2n metildietanolamina	
	Flexsorb	Aminas impedidas	
	KS – 1, KS – 2, KS – 3		
	Benfield y versiones	Carbonato de potasio y catalizadores. Procesos Lurgy y Catacarb con trióxido de arsénico	70 – 120℃, 2.2 – 7 MPa
Solventes químico/físicos	Sulfinol – D, Sulfinol – M	Mezcla de DIPA o MDEA, agua y tetrahidrotiofeno (DIPAM) o dietanolamina	> 0.5 MPa
	Amisol	Mezcla de metanol y MEA, DEA, diisopropilamina (DIPAM) o dietanolamina	5/40℃, > 1 MPa

Fuente: (IEA, 2008)

Aminas

Las aminas son compuestos que se derivan del amoníaco (NH_3) y se clasifican en primarias, secundarias o terciarias dependiendo del número de átomos de hidrógeno que son sustituidos por otros componentes. El CO_2 en fase gaseosa se disuelve en una solución acuosa de aminas, que reaccionan con el CO_2 formando aminas protonadas y un compuesto llamado carbamato.

- Aminas primarias: Monoetanolamina (MEA), diglicolamina (DGA)
- Aminas secundarias: Dietanolamina (DEA), diisopropilamina (DIPA)
- Aminas terciarias: Trietanolamina (TEA), metildietanolamina (MDEA)

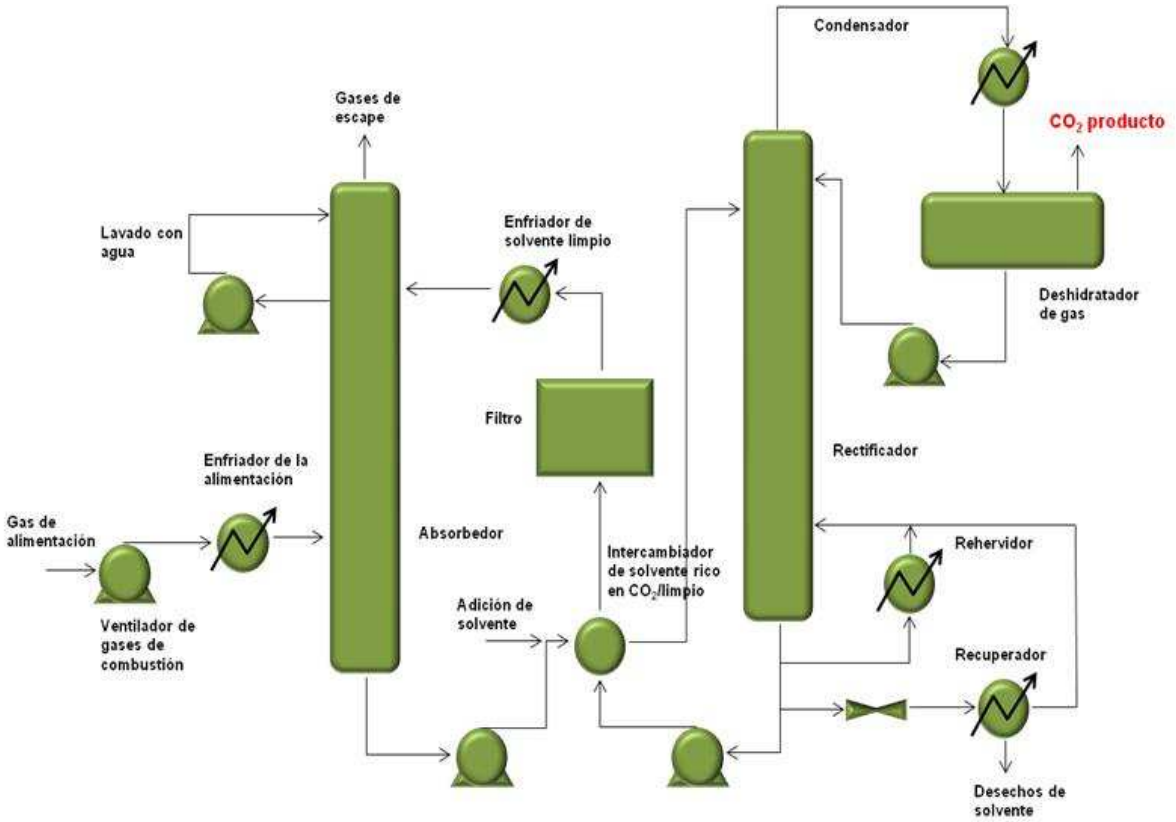
Las aminas poseen diferentes características que hacen no exista una amina ideal para la captura de CO_2. Por ejemplo, la rapidez de reacción para el caso de aminas primarias es mayor que para las demás, mientras que la energía requerida para la regeneración de CO_2 es menor para las aminas terciarias, al igual que la cantidad de CO_2 que absorben.

Folio No. 00205

Debido a lo anterior, se ha realizado investigación de aminas impedidas estéricamente, así como de mezclas de diferentes tipos de aminas que combinen sus ventajas. Las aminas impedidas estéricamente poseen una molécula amina más grande que obstaculiza la reacción de carbamización requiriendo menor energía de regeneración. Una de las estrategias propuestas para combinar las ventajas de los diferentes tipos de aminas es el uso de mezclas de ellas. La MDEA activada es utilizada en el proyecto In Salah y combina aminas secundarias y terciarias.

A pesar de los beneficios obtenidos a partir de la utilización de aminas, éstas sufren degradación por la presencia de oxigeno, además de que pueden reaccionar con NO_2 o SO_2 formado sales estables (nitratos y sulfatos). Lo anterior puede causar a una disminución en la capacidad de absorción, uso de solvente adicional y desechos. A continuación se muestra el proceso de absorción de CO_2 utilizando aminas como solvente (ver Figura III.6). La corriente de gases entra al proceso y es enfriada para entrar a la torre abosrbedora, en la que se pone en contacto con el solvente pobre en CO_2. De la torre, se obtienen gases de escape que son lavados con agua y eliminados a la atmósfera por la parte superior de la torre. Por la parte inferior de la torre, se obtiene el solvente con el CO_2 absorbido. El solvente rico en CO_2, es calentado y bombeado a la parte superior de la torre rectificadora. El solvente pobre en CO_2, obtenido de esta torre, se recircula a la torre absorbedora. El CO_2 producto de la torre rectificadora contiene agua, por lo que es deshidratado.

Figura III.6 Diagrama de flujo de proceso para capturar CO_2 utilizando aminas.



Fuente: (IPCC, 2005)

Folio No. 00206

Tabla III.6 Procesos existentes que utilizan aminas para la captura de CO_2.

Proceso	Descripción	Límites de operación / Condiciones de operación	Áreas potenciales de desarrollo
Kerr-McGee / ABB Lummus Crest	Solvente MEA, utiliza una concentración de (15-20%) para limitar la corrosión. La capacidad para un solo tren es de 400 tCO_2 por día.	- Tolerante a SO_2 hasta 100 ppm. - Flujo de solvente alto, además de requerimiento energético alto. - Baja tolerancia a oxígeno.	- Mayor concentración de solvente. - Mejoras en proceso para reducir la degradación de solvente.
Proceso Fluor Daniel Econamine FG	Solvente MEA inhibido (30% en peso). Capacidad para un solo tren de hasta 320 tCO_2 por día.	- Mejor tolerancia a oxígeno y menor corrosión. - Mayor consumo de oxígeno. - Menor tolerancia a SO_2 (<10ppm).	- Formulación mejorada de solvente para aumentar la rapidez de reacción y reducir el tamaño del equipo de absorción. - Mayor capacidad del solvente para disminuir los costos de energía de regeneración de CO_2. - Mejoras de proceso para reducir costos de energía.
Proceso Kansai / Mitsubishi KEPCO / MHI	Solventes de aminas impedidas estéricamente (KS1, KS2, KS3). Capacidad para un solo tren de hasta 200 tCO_2 por día.	- Requerimiento de energía bajo. - Bajo flujo de solvente, degradación y pérdidas. - Costo más alto comparado a MEA. - Menor tolerancia a SO_2 (<10ppm).	- Desarrollo de aminas impedidas con menor calor de desorción. - Reducción de requerimientos energéticos de otros procesos. - Reducción de pérdidas de solvente.
Proceso Praxair	Mezcla de solventes, con una etapa adicional para capturar oxígeno después de la etapa de recuperación de CO_2.	- Tolerancia a oxígeno mejorada sin el uso de inhibidores.	- Mezcla de solventesque permitan mayor capacidad de absorción y mayor rapidez de reacción, que no incurran en problemas de operación debido a la corrosión.

Fuente: (Rackley, 2009)

Folio No. 00207

Figura III.7 Fotografía de una planta en Malasia que utiliza el proceso KEPCO / MHI para capturar CO_2.

Fuente: (IPCC, 2005)

La investigación en solventes avanzados, se centra en la obtención de solventes que puedan consumir una cantidad menor de energía para la regeneración, nuevos diseños de procesos, utilización de aditivos para la reducción de la corrosión y aumento de la concentración de aminas, y prevención de la degradación oxidativa de MEA (IPCC, 2005: Figueroa José et al, 2007).

Carbonato de amonio

Las soluciones de amoniaco poseen la ventaja de ser más estables y menos corrosivos. El carbonato de amonio reacciona con el CO_2 para formar bicarbonato de amonio, a temperaturas más bajas que las requeridas por sistemas que utilizan aminas. Una ventaja adicional que ofrecen estos solventes es que se obtiene sulfato de amonio y nitrato de amonio a partir de SO_2 y NO_2 respectivamente, para la producción de fertilizantes. Una variación del sistema mencionado en el párrafo anterior, es el proceso de amoníaco enfriado. Este proceso está basado en la misma química carbonato de amonio / bicarbonato de amonio, pero a partir de éste no se produce ningún fertilizante, además de que opera a temperaturas de congelación (0 y 10℃). En la actualidad, Alstom, We Energies y el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI), conducen una prueba piloto con una planta de 1.7 MW que utiliza el proceso de absorción utilizando amoníaco. El proyecto se localiza en Pleasant Prairie, Milwaukee en los Estados Unidos, y ha capturado más del 90% del CO_2. La planta piloto toma 1% de los gases de combustión que salen de la unidad de desulfuración 1 o 2. Los gases son enfriados para remover agua y contaminantes residuales. La corriente entra a la etapa de absorción y al salir de ésta, se calienta para remover el CO_2 capturado. La experiencia obtenida en este proyecto será utilizada para capturar CO_2 generado en la planta Mountaineer de American Electric Power y Alstom en New Heaven, Virginia Occidental; además de que el CO_2 capturado será almacenado en una formación salina que se encuentra en el mismo lugar. Se espera que con este proyecto se puedan capturar y almacenar 100,000 tCO_2 al año. Otro proyecto planeado por Alstom y American Electric Power en la estación Northeastern en Oologah, Oklahoma, prevee la captura de 1.5 $MtCO_2$ al año utilizando la misma tecnología de

Folio No. 00208

captura (MIT, 2010). Existen diferentes proyectos que se encuentran en fase de desarrollo y que incorporarán esta tecnología de absorción, como la estación Antelope Valley en Beluah, Dakota del Norte; Mongstad, Noruega; y Project Pioneer en Wabamun, Canadá.

Carbonatos

Las soluciones acuosas de carbonatos han sido propuestas para la captura de CO_2 debido a que estas soluciones requieren de una cantidad menor de energía de desorción en comparación con las aminas. Estas soluciones utilizan carbonato de potasio, que reacciona con el CO_2, formando bicarbonato de potasio. La rapidez de reacción para esta alternativa es baja, pero puede ser mejorada al agregar piperazina a la reacción. La Tabla III.7 muestra las ventajas, desventajas y áreas de enfoque para R&D de los sistemas de absorción química descritos en la sección anterior.

Tabla III.7 Ventajas, desventajas y R&D.

Tecnología de absorción	Ventajas	Desventajas	R&D
Sistemas de aminas	-Tecnología ampliamente probada, lo que lleva a menores costos de capital. - Se han desarrollado una gran gama de solventes. - Punto de referencia económico y técnico para otros solventes	- Requerimientos energéticos grandes para la regeneración del solvente. - Tolerancia baja a SO_2, NO_x y O_2. - Concentración baja de aminas para resistencia a la corrosión, limitando la capacidad de absorción.	- Identificación de nuevos solventes basados en aminas con menor energía de regeneración. - Mejoras en la integración energética con plantas. - Aditivos que mejoren el desempeño de los sistemas. - Mejoras en ingeniería de los sistemas de absorción y rectificación para reducir el consumo energético.
Sistemas de carbonatos	- Mayor capacidad de absorción. - Menor consumo de energía por regeneración de solvente. - Baja solubilidad de oxígeno, reduciendo la corrosión.	- Alto costo de aditivos como la piperazina.	- Ahorro de energía por mejoras en el empacamiento de torres y rectificación en etapas. - Catalizadores o aditivos que mejoren la rapidez de absorción de CO_2 reduciendo el uso de energía para la rectificación.
Amoníaco acuoso	- Requerimiento bajo de energía de regeneración bajo. - No existe degradación del solvente. - Solvente de bajo costo. - Regeneración con presión alta. - Tolerante a O_2 y otros contaminantes. - Posibilidad de producción de sulfato de amonio y nitrato de amonio para la producción de fertilizantes.	- Temperaturas bajas para reducir pérdidas de solvente. - Pérdida de solvente debido a la regeneración a temperaturas altas.	- Mejorar de la capacidad de absorción. - Reducción de pérdidas de solvente.

Folio No. 00209

Tecnología de absorción	Ventajas	Desventajas	R&D
Amoníaco refrigerado	-Requerimiento bajo de energía de regeneración. - No existe degradación del solvente. - Solvente de bajo costo.	- Temperaturas bajas para reducir pérdidas de solvente. - Formación de sólidos que pueden causar incrustaciones en equipo.	- Operación de planta de demostración. - Reducción de emisiones de solventes.

Fuente: (Rackley, 2009)

Adsorción

La adsorción, a diferencia de la absorción, captura el CO_2 de las corrientes de proceso superficialmente, es decir, el CO_2 se adhiere en la superficie del solvente. Este método de captura no ha sido utilizado a nivel comercial, pero se presenta como una opción para la captura de CO_2. En estos sistemas, la adsorción se realiza con ayuda de tamices moleculares o carbón activado, mientras que la desorción se realiza por procesos de presión y temperatura oscilante. Así como en la absorción, existen diferentes tipos de solventes (químicos y físicos) y la Tabla III.8 los muestra.

Tabla III.8 Tipos de Adsorbentes.

Tipo de Adsorbentes	Adsorbentes	Características
Adsorbentes físicos	Materiales de carbono	- Baja selectividad CO_2/N_2 - La alta porosidad de carbón activado y carbón permite la captura
	Materiales cristalinos (Zeolitas)	- Afectado por H_2O (vapor) -Selectividad CO_2/N_2 5 – 10 veces mayor a materiales de carbono
Adsorbentes químicos	$CaCO_3$ / CaO	- La reacción de carbonización de CaO y CO_2 se lleva temperaturas mayores a 600℃ - La reacción de regeneración se lleva a cabo a temperaturas mayores a 900℃ - Probado exitosamente a escala piloto para el desarrollo en un proceso de gasificación - Desactivación rápida de adsorbentes naturales
	Adsorbentes metálicos alcalinos	- Captura a través de reacciones de transformación de carbonatos metálicos en bicarbonatos con H_2O (vapor) - Los adsorbentes basados en sodio operan en el rango de temperaturas de las aminas acuosas (25 – 120℃) - Los adsorbentes basados en litio operan a 400 – 500℃ y ofrecen mayor capacidad de captura
	Aminas inmovilizadas en adsorbentes	- La tecnología se encuentra bajo investigación - Estabilidad en el rango de 50 – 120℃ y gran capacidad de captura / emisión

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

Folio No. 00210

Membranas

Las membranas han sido utilizadas para diferentes procesos como la recuperación de hidrógeno a partir de la producción de amoniaco, la separación de CO_2 de metano y etano, por empresas como Dow y UOP Honeywell. Las membranas actúan como filtros que capturan compuestos de manera selectiva de acuerdo con las tasas de permeabilidad de los compuestos, dependiendo del tamaño de las moléculas, difusividad y solubilidad (Herzog, Howard, Meldon, Jerry y Hatton, Alan, 2009a). Existen varios tipos de membranas considerados para la captura de CO_2 y en la Tabla III.9 se resumen sus características.

Tabla III.9 Características de membranas.

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Tamiz molecular de carbono	Están compuestos por una red desordenada y amorfa de plaquetas de grafito de carbono.	- Selectividad lata de CO_2 con respecto a N_2 y CH_4. - Duraderos. Soportan temperaturas altas.	- Permeabilidad de CO_2 baja. - Materiales y fabricación cara. - Construcción compleja.
Tamiz molecular de zeolita	Enrejado microporoso con tamaños de poro controlados (3-13Å)	- Selectividad perfecta y permeabilidad alta en aplicaciones específicas de tamices moleculares.	- Selectividad limitada para moléculas con diámetro cinético similar. (CO_2, O_2, N_2)
Membranas de sílice	Membranas microporosas que operan por difusión de Knudsen o por tamizado molecular y difusión superficial, dependiendo del tamaño de poro.	- Estabilidad térmica, estructural y química. - Control del tamaño de poro y distribución fácil a través de métodos de preparación.	- Generalmente presentan baja selectividad.
Membranas híbridas (amina o poliimida – sílice)	Membranas de materiales compuestos con grupos orgánicos incorporados en la matriz microporosa de sílice o unidas químicamente a los poros de la superficie.	- Mayor selectividad en comparación con membranas cerámicas como resultado de la difusión de superficie mejorada del compuesto permeable. - Estabilidad térmica y mecánica de membranas cerámicas combinada con la selectividad de polímeros.	

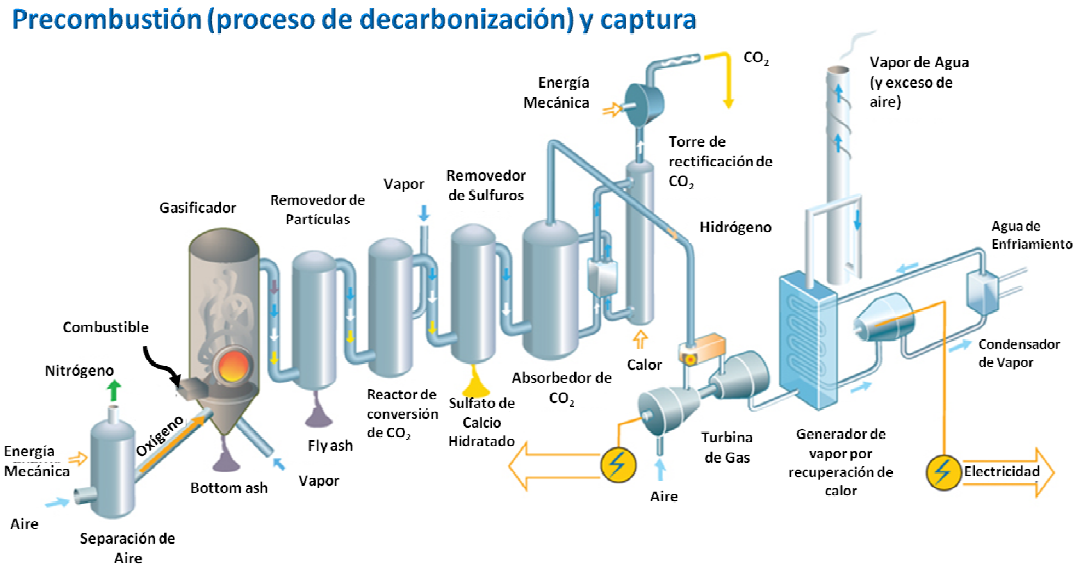
Fuente: (Rackley, 2009)

Folio No. 00211

III.3.1.2 Captura pre-combustión

La captura pre-combustión podría ser empleada principalmente en plantas IGCC una vez que se tiene el gas de síntesis limpio y antes de que sea quemado en turbinas de gas. Para poder capturarlo, es necesario utilizar un reactor de conversión de CO, ya que el gas de síntesis está compuesto principalmente por H_2 y CO. Una vez que se tiene una corriente rica en CO_2, se utiliza cualquier método de captura. Los procesos que se han utilizado para la remoción de gas ácido del gas de síntesis pueden ser empleados para remover CO2. Los procesos Selexol y Rectisol han sido utilizados en plantas de gasificación como las de Sarlux y Sasolburg respectivamente, y constituyen una opción probada que podría representar una solución a corto plazo. Para la captura pre-combustión, existen también tecnologías en desarrollo como membranas y materiales de adsorción (Ver Figura III.8).

Figura III.8 Diagrama de captura pre-combustión.



Fuente: (Vattenfall, 2010)

Absorción

Como se observa en la Tabla III.5, la mayoría de los proyectos han utilizado aminas para remover el gas ácido del gas de síntesis y por ejemplo, ELCOGAS en España, planea utilizar aminas activadas para la captura de CO_2. A pesar de lo anterior, la absorción física puede traer el beneficio de reducir la energía requerida para la desorción de CO_2 del solvente y es considerada como una opción viable debido al alto contenido de CO_2 en el gas de síntesis. Como se mencionó con anterioridad, los procesos Selexol y Rectisol, son solventes comerciales utilizables, y el Sulfinol se presenta como una opción que presenta ventajas con respecto a las aminas, si es posible el almacenamiento geológico de H_2S y CO_2.

Folio No. 00212

Proceso Selexol

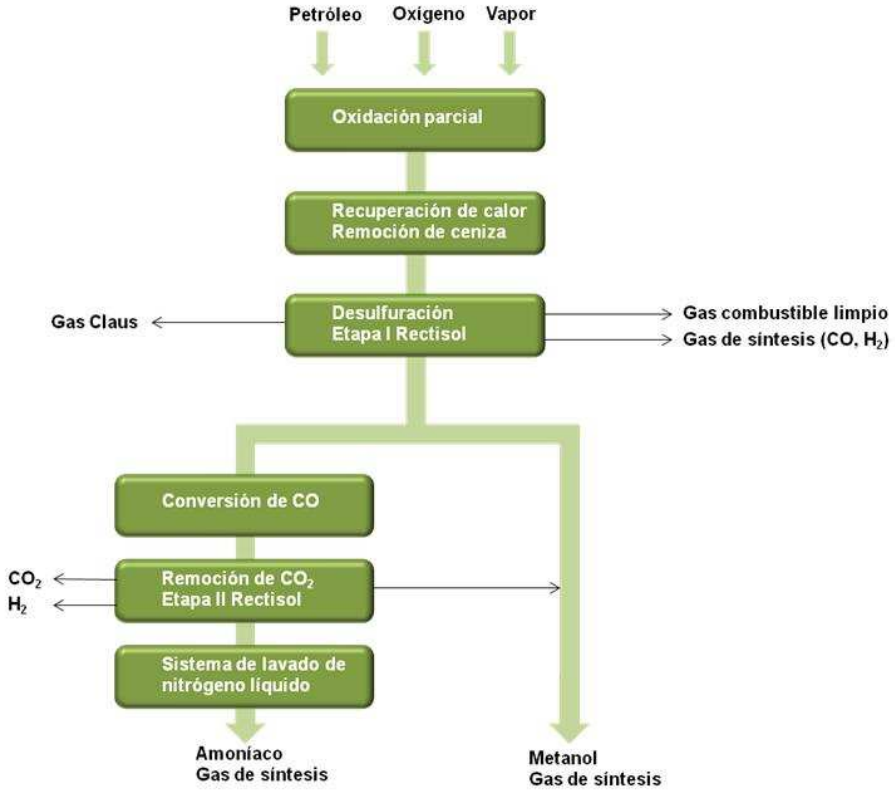
El proceso Selexol ha sido utilizado para remover gas ácido de corrientes de gas sintético o gas natural desde 1970. Este proceso utiliza un solvente líquido que contiene éter dimetílico de polietilen glicol. El solvente es inerte químicamente y no está sujeto a degradación. El solvente fue desarrollado por Allied Signal en la década de 1950 y actualmente UOP aplica la tecnología para aplicaciones en IGCC (Rackley, Stephen, 2010). El esquema de flujo básico es muy similar al proceso utilizando aminas y la temperatura de operación del proceso se encuentra entre 0 y 40℃ (Higman, Christopher y Marteen van der Burgt, 2008).

Proceso Rectisol

La primera instalación del proceso Rectisol fue en Sasolburg, República de Sudáfrica y ha sido utilizado para purificar el gas de síntesis producido en diversos procesos de gasificación. El solvente físico utilizado en este proceso es metanol refrigerado, que es un solvente que ofrece selectividad considerable, lo que permite flexibilidad en la manera en la que se integra el proceso de acuerdo a las circunstancias del proceso general. El proceso Selexol comprende la absorción y desorción de los componentes indeseables. Los componentes indeseables del gas de síntesis (CO_2, H_2S, COS, HCN, NH_3) son absorbidos por el solvente. La solubilidad de los diferentes compuestos varía considerablemente, por lo que se puede realizar la separación selectiva de éstos. El siguiente diagrama de bloques muestra un posible arreglo empezando con la gasificación de crudo pesado. El ejemplo se enfoca en la producción de metanol, pero se indican otros productos. El gas producto de la oxidación parcial es enfriado. Los compuestos como el HCN y NH, son removidos en la etapa de prelavado con metanol frío. Después, el azufre se remueve utilizando solvente cargado con CO_2. El solvente obtenido en esta etapa es regenerado primero, por expansión instantánea a mediana presión para obtener H2 y CO, y después por calentamiento del solvente. El gas de síntesis pasa a una etapa de conversión de CO a CO_2 y vuelve a entrar a una unidad Rectisol, en donde el CO_2 es removido en un absorbedor de dos etapas (Lurgi, 2010).

Folio No. 00213

Figura III.9 Esquema de producción de gases.



Fuente: (Lurgi, 2010)

Proceso Fluor de carbonato de propileno

Este proceso fue desarrollado a finales de la década de 1950 Fluor y El Paso Natural Gas Company y fue el primero utilizado para la absorción física de CO_2 con el fin de removerlo del gas natural. El solvente utilizado es el carbonato de propileno y fue seleccionado debido a la gran solubilidad de CO_2 en éste con respecto al metano y a que no corroe el equipo de proceso. El CO_2 se separa del gas natural al ponerse en contacto con el solvente a una presión menor a la ambiente y a un máximo de 65℃. La regeneración del solvente se logra a través de una serie de recipientes de expansión instantánea que operan a presiones menores a la que se tiene en el equipo de absorción. La siguiente tabla muestra las ventajas y desventajas de los sistemas de absorción física descritos anteriormente.

Folio No. 00214

Tabla III.10 Ventajas y desventajas de los sistemas de absorción física.

Tecnología de absorción	Ventajas	Desventajas
Proceso Fluor (Carbonato de propileno)	- Tecnología probada con más de 50 años de experiencia. - Selectividad alta para CO_2 con respecto a metano. - Solvente no corrosivo. - Menores pérdidas de hidrocarburos y menor requerimiento de compresión de gas comparado con el proceso Selexol.	- Tolerancia baja a H_2S. - La corriente de alimentación debe de ser deshidratada debido a la alta solubilidad del agua. - Reacción reversible a temperaturas mayores a 90℃. - Alto costo de refrigeración.
Proceso Rectisol	- Alta selectividad para H_2S y CO_2. - Capacidad para remover cualquier contaminante en un solo proceso. - Bajo costo de solvente. - Experiencia comercial aplicada en procesos de gasificación.	
Proceso Selexol	- Tecnología probada con más de 30 años de experiencia. - Solvente inerte que no está sujeto a degradación. - Solvente no acuoso.	- Requiere de alta presión parcial de CO_2. - La corriente de alimentación debe de ser deshidratada debido a la alta solubilidad del agua.

Fuente: (Rackley, 2009)

Adsorción

Los sistemas de adsorción son los mismos empleados para la post-combustión, y dentro de los materiales bajo investigación y con posible aplicación en pre-combustión se encuentra el silicato de litio (Li_4SiO_4) que opera a presiones y temperaturas altas, además de que puede trabajar en presencia de H_2S y puede capturar más del 90% de CO_2 (Figueroa José, 2007).

Membranas

Se han estudiado diferentes membranas para la captura pre-combustión, presentando ventajas como menor consumo de energía, mantenimiento bajo y ausencia de cambios de fase. La membrana de polibencimidazol desarrollada por el Laboratorio Nacional Los Alamos presenta estabilidad hidrotérmica hasta los 400℃, además de tolerancia al azufre

Folio No. 00215

y durabilidad (Figueroa José, 2007). Un ejemplo novedoso es el inventado por Standard Oil Company en 1988, que realiza la separación de oxígeno, la oxidación de metano y la reformación del mismo para la formación de gas de síntesis en un solo paso (Rackley, 2009). Existen varios tipos de membranas que están siendo consideradas para la captura pre-combustión y en la Tabla III.11, se muestran las características de las mismas.

Tabla III.11 Membranas de captura pre-combustión.

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Membranas poliméricas	Predominantemente son materiales de polímeros vidrioso, como poliimidas, co-polímeros.	- Estabilidad térmica, resistencia química y resistencia mecánica de membranas de poliimida. - Gran nivel de control sobre la permeabilidad y selectividad a través del control de la preparación del polímero, y composición química incluyendo grupos funcionales.	- Hinchazón y plastificación con CO_2. - Aplicaciones de temperatura relativamente baja.
Membranas de matriz mixta	Membranas de polímeros vidriosos o elástico con partículas de tamizado molecular como zeolita, o carbón activado incrustados en una matriz polimérica.	- Oportunidad de combinar la permeabilidad alta de los polímeros elásticos con la selectividad de tamices moleculares.	- Formación de microcavidades debido a la unión pobre entre polímero y las partículas contenidas. Particularmente para polímeros vidriosos.
Membranas de transporte facilitado con portador fijo	Membranas poliméricas sólidas que incorporan portadores fijos que reaccionan de manera reversible con el material permeado e incrementa la selectividad y permeabilidad del mecanismo de transporte difusivo de la solución.	- Selectividad alta y flujo de permeado. - Menor pérdida de portador que para membranas de portador móvil.	- Falta de movilidad del grupo funcional.
Membranas de transporte facilitado líquido inmóvil	Es una membrana de transporte facilitado con portador móvil. Generalmente es un soporte polimérico o microporoso que contiene una solución inmovilizada en el espacio de poro. Incluyen membranas poliméricas hinchadas con solvente.	- Permeabilidad a CO_2 muy alta y selectividad a N_2.	- Pérdida de líquido a través de evaporación o fugas. - Degradación de portador debido a inestabilidad química. - Saturación de portador a presión alta de permeado.

Folio No. 00216

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Membranas metálicas	Membranas de difusión con solución selectiva para hidrógeno formadas por la deposición de una capa metálica a escala de micrones como paladio sobre un soporte poroso.	- Selectividad completa de hidrógeno.	- Permeabilidad baja. - Propiedades mecánicas pobres y degradación química debido a cloro y azufre.
Membranas de intercambio iónico de óxidos metálicos	Membrana de óxido metálico densa, minerales como perovskita, conducción de iones oxígeno a través de transporte facilitado entre vacantes de oxígeno en el enrejado.	- Operación a temperaturas altas. - Gran capacidad de absorción de O_2 o CO_2. - Resistencia a gases contaminantes como SO_x, H_2S.	
Membranas de intercambio iónico de fase dual	Intercambio iónico en un electrolito de carbonato fundido, soportado en el espacio de poro de un metal o una estructura cerámica de óxido de metal.	- Aplicación de muy alta temperatura, cerca del punto de combustión en la generación de electricidad.	- Desempeño del material de soporte en ambientes oxidantes de alta temperatura.

Fuente: (Rackley, 2009)

III.3.1.3 Captura oxy-combustión

Este tipo de captura se lleva a cabo en instalaciones que queman carbón con oxígeno casi puro. En estas instalaciones, los gases de combustión están formados principalmente por H_2O y CO_2. La captura de CO_2 no requiere de tecnologías especiales y simplemente el agua se condensa para obtener la corriente de CO_2 que posteriormente se comprime para inyectarse en el subsuelo para su almacenamiento geológico. El oxígeno que se utiliza, proviene de unidades de fraccionamiento de aire, por lo que el mayor ahorro de energía podría darse a partir de nuevos sistemas que puedan proporcionar oxígeno al proceso. Una opción estudiada incluye tamices moleculares para la separación de oxígeno, así como membranas de transporte iónico con compuestos como perovskitas y borwnmilleritas. Una opción tecnológica que se explica en el siguiente apartado, considera materiales que puedan proporcionar el oxígeno.

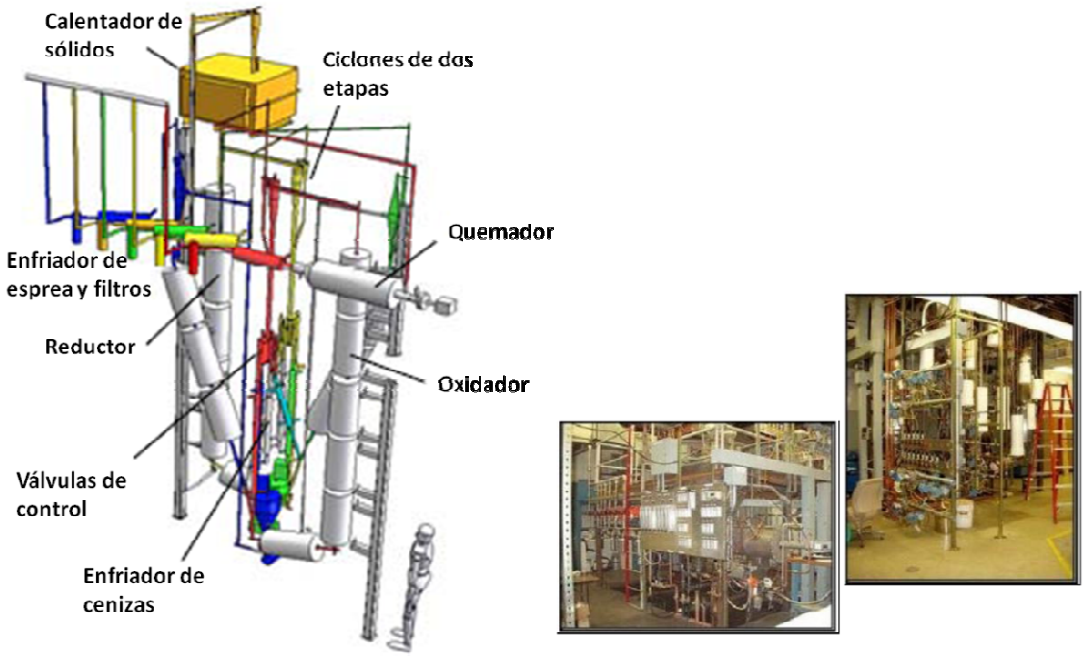
III.3.1.4 Ciclos químicos

Los ciclos químicos se pueden utilizar en procesos de combustión o gasificación y en ellos, el oxígeno necesario es proporcionado a través de un material portador. Estos procesos no requieren de unidades de fraccionamiento de aire. El proceso utiliza un reactor en el que el material se oxida con aire y otro reactor en el que el material se reduce para que se pueda quemar el combustible generando H_2O y CO_2. Alstom Power ha realizado experimentos a nivel piloto de un sistema de ciclo químico utilizando sulfuro de calcio como material

Folio No. 00217

portador de oxígeno. El proceso utiliza vapor, carbonato de calcio, carbón y aire. El oxígeno puede ser utilizado para la combustión o gasificación de carbón para la producción de electricidad o de hidrógeno. Alstom Power junto con el DOE diseñó un proyecto piloto en sus laboratorios de Windsor, Connecticut. El proyecto comenzó en el año 2003, y actualmente se encuentra en etapa de diseño de un prototipo que en un futuro podrá usarse a nivel comercial (ver Figura III.10). Los esfuerzos realizados para el desarrollo de esta tecnología incluyen también el desarrollo de los reactores en los cuales se desarrollará la reducción y oxidación. En este aspecto, en Australia, Calix ha desarrollado reactores de ciclo químico que utilizan CaO.

Figura III.10 Proyecto piloto de ciclo químico.



Fuente: (Alstom Power, 2009)

III.3.1.5 Proyectos de investigación y desarrollo

A pesar de que existen tecnologías de captura que son utilizadas a nivel comercial, se están investigando tecnologías que puedan ser más eficientes y sustituyan a las actuales. No cabe duda, que la captura y almacenamiento geológico de CO_2 está siendo considerada como una opción para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria y dentro de los esfuerzos realizados se encuentra el estudio de nuevos materiales y procesos que puedan para lograr lo anterior. En la Tabla III.12 se muestran algunos proyectos de investigación específicos que se llevan a cabo por distintas instituciones y centros de investigación.

Folio No. 00218

Tabla III.12 Resumen de las tecnologías avanzadas bajo investigación.

Enfoque del proyecto	Participante
Membranas Post-Combustión	
Membrana biomimética	Carbozyme, Inc.
Proceso de membrana CO_2	Research Triangle Insitute
Proceso de captura de CO_2 con membranas	Membrane Technology and Research
Membrana dual	Universidad de Nuevo México
Membranas poliméricas	Membrane Technology and Research
Membranas electroquímicas	DOE / NETL's ORD
Solventes Post-Combustión	
Oligómeros de alta capacidad	GE Global Research
Proceso integrado de absorción con carbonato al vacío	Illinois State Geological Survey
Absorción de la fase de transición	Universidad de Hampton
Líquidos iónicos	Universidad de Notre Dame
Líquidos iónicos reversibles	Georgia Tech Research Corp.
Adsorbentes Post-Combustión	
Zeolitas injertadas con aminas	Universidad de Akron
Proceso de carbonato seco	Research Triangle Institute
Adsorbente de CO_2 de bajo costo	TDA Research
Marcos metálicos orgánicos	UOP LLC
Adsorbentes basados en carbono	SRI International
Adsorbentes sólidos	ADA – ES, Inc.
Estudios de diseño de reactores	DOE / NETL's ORD
Aminas soportadas en carbono	DOE / NETL's ORD
Modelado de aminas soportadas	DOE / NETL's ORD
Simulación de dispositivos de adsorción	DOE / NETL's ORD
Nanotecnología de inmovilización de superficie para adsorbentes	DOE / NETL's ORD
Desarrollo de adsorbentes de CO_2	DOE / NETL's ORD
Suministro de O_2	
Oxy-combustión basada en membranas de transporte de oxígeno	Praxair, Inc.
Compresión	
Conceptos nuevos de compresión de CO_2	Southwest Research Institute
Tecnología de compresión por onda expansiva supersónica	Ramgen Power Systems

Folio No. 00219

Enfoque del proyecto	Participante
Oxy-Combustión	
Ensayo piloto de oxy-combustión de carbón pulverizado	Babcock & Wilcox
Impactos de la oxy-combustión en calderas de carbón existentes	Reaction Engineering International
Desarrollo de calderas oxy-combustión para quema tangencial	Alstom Power
Desarrollo de materiales para calderas oxy-combustión	Foster Wheeler NA Corp.
Retroadaptación de reciclado de CO_2 oxy-combustión	Southern Research Institute
Investigación a escala piloto de oxy-fuel	Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET)
Oxy-combustion de carbon pulverizado con remoción de contaminantes integrada	Jupiter Oxygen Corp.
Evaluación de opciones de captura / utilización / disposición de CO_2	Argonne National Laboratory
Purificación de gases de combustión utilizando reacciones SO_x / NO_x durante la compresión de CO_2	Air Products and Chemicals, Inc.
Purificación de gases de combustión producto de oxi – combustión con emisiones cercanas a cero	Praxair, Inc.
Oxy-combustión con captura de CO_2	DOE / NETL's ORD
Simulación de oxy-combustión	DOE / NETL's ORD
Desempeño de materiales en ambientes oxy-combustión	DOE / NETL's ORD
Medición de propiedades de flama oxy-fuel	DOE / NETL's ORD
Detección inalámbrica en ambientes oxy-fuel	DOE / NETL's ORD
Combustión en ciclos químicos (CCQ)	
Prototipo (CCQ)*	Alstom Power, Inc.
Ciclos químicos directos de carbón*	Universidad Estatal de Ohio
Estudios de portadores de oxígeno (CCQ)	DOE / NETL's ORD
Desarrollo de modelo CCQ	DOE / NETL's ORD
Quemador CCQ a escala laboratorio	DOE / NETL's ORD
Diseño y control de sistemas CCQ	DOE / NETL's ORD
* Proyectos anunciados en 2008	

Fuente: (AICHE, 2009)

Folio No. 00220

III.4 Transporte de CO_2

El transporte de CO_2 es una parte importante del proceso de captura y almacenamiento de geológico, ya que es la vía para transportar este compuesto de los sitios de captura al sitio de confinamiento permanente. El transporte por ductos se ha realizado desde hace 40 años y a nivel mundial se transportan 50 Mt en 5,600 km de ductos con diámetros hasta de 30 pulgadas (OECD/IEA, 2008). Para el caso de ductos, el CO_2 se transporta en condiciones supercríticas y ha sido una opción segura y económica de transporte. Los sistemas de transporte de CO_2 utilizando ductos se asemeja al diseño de gasoductos, ya que las propiedades del CO_2 supercrítico son similares a las del hidrocarburo ligero.

De acuerdo con el IPCC, el transporte de CO_2 no presenta riesgos de explosión o incendio, pero puede afectar la salud humana si se acumula ya que es más denso que el aire. Las impurezas como SO_2 o H_2S pueden tener efectos negativos en la salud y también pueden afectar los ductos debido a su naturaleza corrosiva. La Tabla III.13 presenta un resumen de los ductos que transportan CO_2 en la actualidad.

El uso de buques se plantea como una opción para el transporte de CO_2 a largas distancias. Este tipo de transporte ofrece la flexibilidad de que el CO_2 puede ser combinado de varias fuente. Sin embargo, se requiere la construcción de instalaciones de almacenamiento temporal en tierra. La cantidad de buques utilizados para este fin es reducida y únicamente Japón y Noruega los han empleado. El CO_2 sería transportado en estado líquido y se ha mencionado el uso de tanques del tipo a presión o semi refrigerados con una capacidad entre 10 y 50 kt.

Figura III.11 Transporte de CO_2 utilizando ductos.

Fuente: (CO_2 Capture Project, 2010)

Folio No. 00221

Tabla III.13 Experiencias en el transporte de CO_2 por ductos.

Ducto	Ubicación	Operador	Capacidad (Mt/año)	Capacidad (MMPCD)	Longitud (km)	Diámetro (pulgadas)	Construcción completada (año)	Origen del CO_2	Información adicional
Cortez	Estados Unidos	Kinder Morgan	19.3		808	30	1984	Domo McElmo	- El ducto transporta CO_2 hacia Denver City en Texas.
McElmo Creek	Estados Unidos	Resolute			65	8		Domo McElmo	- Alimenta a la unidad McElmo Creek de Resolute en Utah.
Bravo	Estados Unidos	British Petroleum	7.3	382	350	20	1984	Domo Bravo	- Los propietarios del ducto son Occidental Permian, Kinder Morgan CO_2 y Crosstimbers. - La presión de entrega es de 1800 - 1900 psi. - Dentro de los puntos de entrega más grandes se encuentran los campos Slaughter y Wasson en Texas. - British Petroleum opera el ducto en nombre de Occidental Permian. - En 1996, Transpetco inició la operación de un ducto de 194 km y 12.75 pulgqadas de diámetro con una capacidad de 175 MMPCD.
Sheep Mountain	Estados Unidos	Occidental Permian	9.5	330 – 480	660	20 y 24		Sheep Mountain	- Occidental Permian y ExxonMobil son propietarios

Folio No. 00222

Ducto	Ubicación	Operador	Capacidad (Mt/año)	Capacidad (MMPCD)	Longitud (km)	Diámetro (pulgadas)	Construcción completada (año)	Origen del CO_2	Información adicional
									de la porción norte del ducto, mientras que Occidental Permian, ExxonMobil y Arameda Hess poseen la parte que se encuentra alsur del domo Bravo.
Central Basin	Estados Unidos	Kinder Morgan		600		16 - 26			- La capacidad se puede incrementar a 1,200 MMPCD.
Este	Estados Unidos	Occidental Permian		250 y 150	192	12 – 14			- El otro propietario principal del ducto es Conoco Phillips.
Slaughter	Estados Unidos	Occidental Permian		160	65	12			- El ducto corre de Denver City al condado de Hockley en Texas.
West Texas	Estados Unidos	Trinity Pipeline		100	205	8 – 12			- Se extiende de Denver City al condado de Reeves.
Llano Central	Estados Unidos	Trnity Pipeline		100	86	8 – 12			- Se origina en el Ducto Cortez.
Canyon Reef	Estados Unidos	Kinder Morgan	5.2	270	226	16	1972	Plantas de gasificación	- El ducto se origina en McCamey, Texas y termina en el campo SACRO en Texas. - Es el ducto de CO_2 más antiguo de Texas.

Folio No. 00223

Ducto	Ubicación	Operador	Capacidad (Mt/año)	Capacidad (MMPCD)	Longitud (km)	Diámetro (pulgadas)	Construcción completada (año)	Origen del CO_2	Información adicional
Weyburn	Estados Unidos - Canadá	North Dakota Gasification Co.	5	240*	328	12 y 14	2000	Planta de Gasificación	- El ducto tiene destino el campo Weyburn en Canadá.
Val Verde	Estados Unidos	Blue Source	2.5		132	10	1998	Plantas de gas	- Petro Source Company, que es predecesora de Blue Source construyó el ducto en asociación con MCNIC y un afiliado de British Petroleum.
Bati Raman	Turquía	Turkish Petroleum	1.1		90		1983	Campo Dodan	

* MMPCSD

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

Folio No. 00224

III.5 Usos del CO_2 en la Industria Petrolera y Almacenamiento Geológico

El almacenamiento geológico de CO_2 es un proceso mediante el cual se inyecta este gas de efecto invernadero en estado supercrítico en formaciones del subsuelo porosas y permeables que mantengan condiciones de estancamiento que garanticen la estabilización del CO_2 durante miles de años. En la actualidad se conocen diferentes tipos de estructuras geológicas profundas en las que el CO_2 puede ser almacenado; sin embargo, esta idea surgió en la década de los setentas, pero no fue sino hasta principios de los noventas cuando iniciaron las investigaciones sobre esta alternativa de mitigación.

El proceso consiste en cuatro etapas principales (Herzog, 2009):

1. Capturar el CO_2 en su fuente, separándolo de los otros gases que se generan en los procesos industriales. Comprende su separación y compresión a estado supercrítico.
2. Transportar el CO_2 capturado a un lugar de almacenamiento apropiado (normalmente de forma comprimida). El transporte puede ser realizado a través de carros tanque, tren y buques o ductos (transporte económico de grandes cantidades de CO_2).
3. Almacenar el CO_2 fuera de la atmósfera durante un largo periodo, en formaciones geológicas subterráneas, profundidades oceánicas o dentro de ciertos compuestos minerales.
4. Monitorear la efectividad de la operación de almacenamiento, asegurando su permanencia en el subsuelo.

III.5.1 Sumideros de CO_2

El CO_2 puede ser almacenado geológicamente en distintos sumideros como yacimientos de petróleo y gas, formaciones salinas y vetas de carbón no explotables.

Yacimientos de petróleo y gas

Los yacimientos agotados de petróleo y gas pueden almacenar hidrocarburos por millones de años, por lo que presentan una opción para el almacenamiento de CO_2. El uso de CO_2 para la extracción de petróleo en yacimientos activos, presenta una opción atractiva ya que combina la recuperación adicional de petróleo y el almacenamiento de CO_2.

Vetas de carbón no explotables

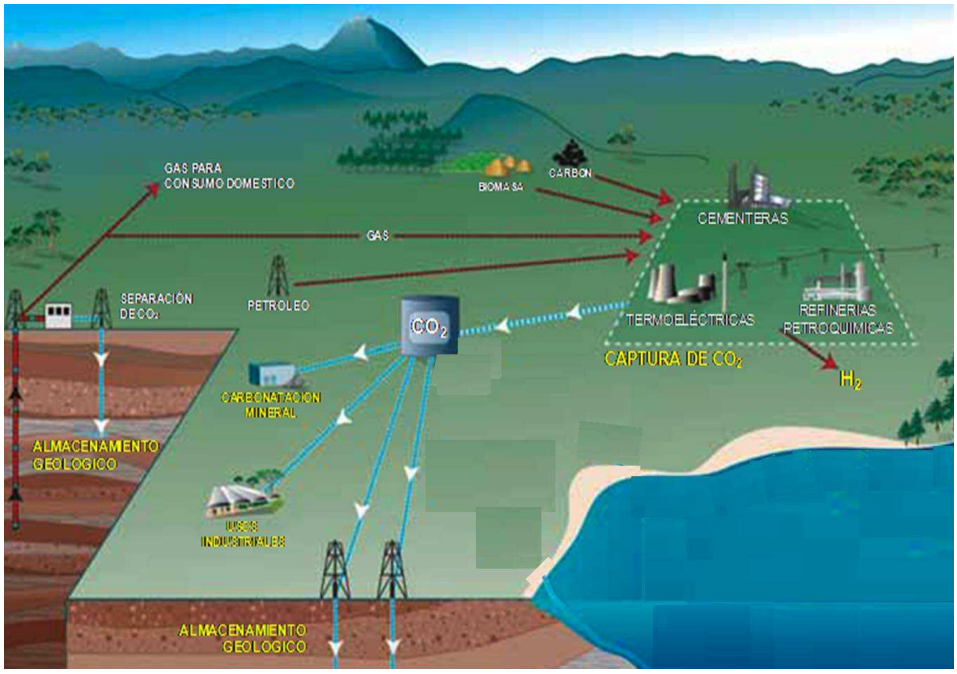
Otro sitio potencial para el almacenamiento de CO_2, corresponde a vetas de carbón abandonadas o cuya explotación no es económica. Para esta opción, el CO_2 inyectado es adsorbido físicamente por el carbón. Este proceso es similar a la manera en la que el carbón activado remueve impurezas del agua o del aire.

Folio No. 00225

Formaciones salinas

Las formaciones salinas presentan el mayor potencial para el almacenamiento de CO_2. El CO_2 puede ser almacenado en formaciones debajo del fondo del mar o en formaciones subterráneas. El CO_2 debe de ser inyectado a más de 800 m de manera que pueda permanecer en estado líquido o supercrítico. Las formaciones salinas son rocas sedimentarias saturadas con salmuera de gran contenido salino. Estas formaciones se encuentran distribuidas por todo el mundo y a nivel local son utilizadas por la industria química y para la producción de energía geotérmica. A diferencia de los yacimientos de petróleo y gas, las formaciones salinas tienen una historia limitada en cuanto a su uso para el almacenamiento y es por ello que se realizan diversos proyectos que tienen como objetivo estudiar la factibilidad del almacenamiento de CO_2 en estas formaciones.

Figura III.12 Generación, captura y almacenamiento de CO_2.



Fuente: (IPCC, 2005).

III.5.2 Características de los yacimientos para el almacenamiento geológico de CO_2

Las formaciones geológicas que son adecuadas para el almacenamiento geológico de CO_2, deben de tener características específicas que incluyen la capacidad del yacimiento, confinamiento del CO_2 y facilidad de inyección.

Capacidad. La capacidad de almacenamiento de CO_2 está sujeta a diversos parámetros como el grosor de la formación, área del sitio de almacenamiento, la porosidad de la roca. Un parámetro clave para determinar la capacidad es la porosidad.

Folio No. 00226

Confinamiento. El sitio de almacenamiento, debe de poseer también rocas y sistemas de presión que limiten el flujo del fluido en el subsuelo. En general, existen sistemas naturales de fallas y zonas de mayor presión que actúan como barreras.

Capacidad de inyección. La permeabilidad es el factor clave para determinar la facilidad con la que el fluido se desplazará por la formación y para el caso del almacenamiento geológico de CO_2, se desea que las formaciones tengan gran permeabilidad de manera que el CO_2 pueda distribuirse por los poros de manera rápida.

III.5.3 Monitoreo de CO_2

Es de gran importancia conocer el movimiento del CO_2 y su comportamiento químico dentro del reservorio para poder asegurar su permanencia en el mismo. A continuación se presentan las técnicas empleadas para el monitoreo geológico de CO_2. El monitoreo está enfocado en documentar la respuesta dinámica del yacimiento, mientras que la caracterización estática del mismo es importante para planear su inundación con CO_2 y la forma en la que se llevará a cabo. La caracterización incluye porosidad, permeabilidad, sistemas de fracturas y distribución de fluidos. La meta del monitoreo tiene que ver con el rastreo de la saturación y distribución de CO_2 dentro del yacimiento, la determinación en cambios de presión, la identificación de flujo no esperado de CO_2 y la determinación del volumen de CO_2. A partir de los resultados obtenidos, se demostró que los métodos de monitoreo sísmico y geoquímico pueden determinar la distribución y movimiento de CO_2 dentro del yacimiento (ver Tabla III.14).

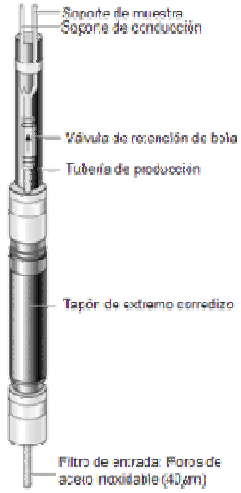
Tabla III.14 Técnicas de monitoreo geológico de CO_2.

Técnica de monitoreo	Descripción
Monitoreo del pozo de inyección	
Presión y temperatura de inyección	Mediciones estándar de presión, temperatura y volumen.
Localización y movimiento de la pluma de CO_2	
Estudios Sísmicos en Lapsos de Tiempo (4D)	Esta técnica se basa en el contraste de impedancia acústica entre roca que contiene agua, hidrocarburos o CO_2. Es una comparación de los estudios sísmicos a través del tiempo (lapsos de un año) para observar el progreso del CO_2 y cualquier cambio provocado por su inyección en el yacimiento.
Sísmica Crosswell	Provee una imagen topográfica de alta resolución de las propiedades del subsuelo entre dos pozos. Esta técnica es de gran importancia para el almacenamiento de CO_2, ya que la relación entre la velocidad sísmica y la saturación de CO_2 es necesaria para la interpretación cuantitativa de la sísmica Crosswell. Al igual que la técnica VSP, emplea la velocidad a la que viaja el sonido entre los dos pozos para monitorear la pluma de CO_2. Una fuente sísmica en el pozo de inyección genera ondas que viajan a una cierta velocidad, y al encontrarse con la pluma de CO_2, éstas llegan más tarde de lo normal a receptores localizados en el pozo de monitoreo.

Folio No. 00227

Técnica de monitoreo	Descripción
Perfil Sísmico Vertical (VSP)	En esta técnica se colocan sensores sísmicos en una perforación, tomando información a partir de la acción de las fuentes en la superficie.
Microsísmica	Medición del ruido microsísmico generado a partir de eventos de fractura causados por la inyección. Para realizar la medición se pueden utilizar geófonos montados en la superficie o a en el subsuelo.
Herramienta de Control de Saturación de Yacimiento (RST)	Una sonda se introduce a través del pozo y sensores reciben y mandan señales a la superficie para su grabación. Schlumberger desarrolló esta herramienta que utiliza la captura pulsada de neutrones para determinar la saturación de la salmuera. El valor Sigma (S) se deriva de la tasa de captura de neutrones térmicos (principalmente cloruros). La conductividad de la salmuera origina un gran valor de S para el agua de formación, lo que permite el cálculo de la saturación de CO_2. Durante el experimento Frio Brine se obtuvieron cinco registros del pozo de observación y el análisis de los mismos fue hecho por investigadores de BEG y Schlumberger – Doll Labs. La herramienta RST funciona de la siguiente manera: • Se emiten neutrones de alta energía por pulsos a la formación a través de un generador electrónico • Los neutrones interactúan con núcleos en la formación, por lo que pierden energía hasta ser capturados • Como resultado de estas interacciones, los núcleos emiten uno o más rayos gamma que poseen una energía característica que es captada por detectores • La energía gamma es registrada y procesada por una señal digital de alta velocidad, que a su vez registra el tiempo de llegada relativo al inicio de la ráfaga de neutrones El tiempo y la energía del rayo gamma son transformados en datos de concentración de elementos por algoritmos de análisis espectral
Muestreo geoquímico (Tubo U)	Esta técnica se emplea para entender el destino del CO_2 y la interacción agua – arenisca, y para evaluar la integridad de los sellos del yacimiento. El LBNL desarrolló el tubo U y consiste en un bucle continuo de tubos abierto a la formación a través de una válvula de retención, que se cierra utilizando nitrógeno comprimido para ser enviado posteriormente a la superficie. Este tubo permite tomar muestras a la presión del yacimiento, además de que previene la salida de gases de la muestra o la entrada de contaminantes.

Folio No. 00228

Técnica de monitoreo	Descripción
	
Detección del movimiento del suelo	
Radar de Apertura Sintética Interferométrico (INSAR)	Esta técnica incluye la creación de imágenes a través de satélite. Básicamente, el satélite pasa sobre la posición deseada y emite un pulso de radiación electromagnética. La fuerza y retraso de la señal de retorno son registrados para producir imágenes del suelo.
Medidores de inclinación	Se utilizan sensores montados en pozos poco profundos (<10 m) que pueden detectar deformaciones geoquímicas a una escala de microradianes, equivalente a 1 mm de deflexión en un rango de 1 km.
Detección de fugas de CO_2	
Light Detection and Ranging (LIDAR)	Es una tecnología basada en láser, que puede detectar la ubicación y movimiento de CO_2 en la atmósfera con sensibilidad de ppb.
Detección remota hiperespectral	Utiliza sensores que recolectan un espectro en cada punto de la imagen en lugar de una amplitud a una sola longitud de onda, para detectar gases atmosféricos o minerales en la superficie.
Muestreo de gases del suelo	Recolección y análisis de muestras de gases del suelo o de pozos a poca profundidad. El análisis isotópico puede distinguir entre el CO_2 inyectado y el CO_2 generado en la biósfera.
Muestro de fluidos	Recolección y análisis de muestras de fluidos de pozos de agua potable o de cualquier pozo de observación localizado sobre el sello primario, para la detección de CO_2 a una concentración elevada.

Fuente: Centro Mario Molina, con información de Rackley Stephen (2009), Frio Brine (2009), PTCR (2009).

Folio No. 00229

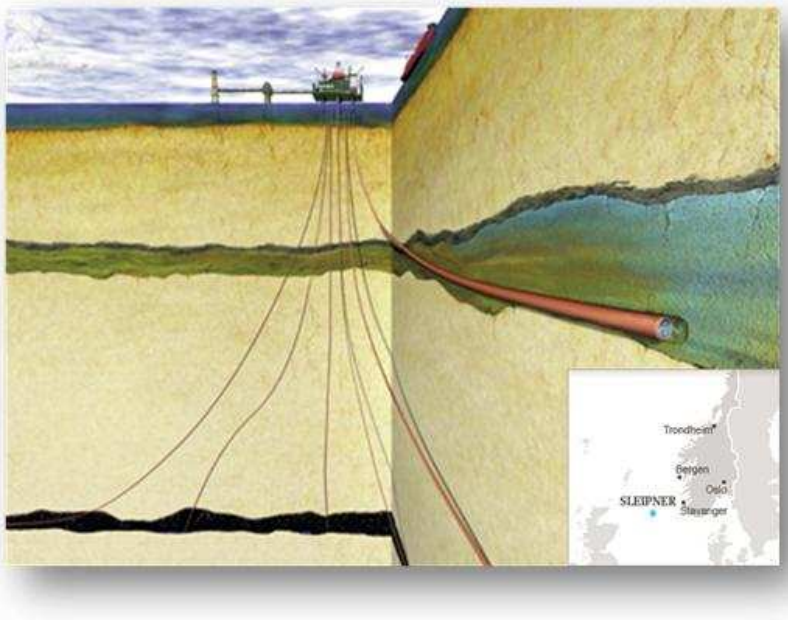
III.5.4 Mecanismo de captura geológica de CO_2

El proceso general de almacenamiento comienza con el desplazamiento de la salmuera que se encuentra en los poros por parte del CO_2. El CO_2, tenderá a moverse hacia la parte superior del yacimiento, con lo que es de gran importancia la existencia de fallas de roca impermeable que contengan el CO_2. A medida que el CO_2 se va desplazando por el yacimiento, una parte de éste se incorpora a la roca, y después varios siglos, es posible que un parte se disuelva en la salmuera y finalmente reaccione con los minerales en la misma. En la actualidad existen diferentes proyectos de diferentes escalas que han demostrado que el CO_2 puede ser almacenado geológicamente de una manera segura.

III.5.5 Proyecto Sleipner

El ejemplo más significativo para el almacenamiento geológico de CO_2 a gran escala en formaciones salinas corresponde al caso de Sleipner, que ha almacenado desde 1996, 8 $MtCO_2$. En 1990, Statoil planeaba la explotación del campo de gas/condensado Sleipner en el Mar del Norte. El gas natural de Sleipner contiene alrededor de 9% de CO_2, lo que excede los requerimientos fijados por la Unión Europea (<2.5%). Para superar el requerimiento anterior así como un impuesto al CO_2 fijado por el gobierno de Noruega en 1991, Statoil propuso la remoción e inyección de CO_2 en la capa geológica debajo de la plataforma Sleipner. El proyecto implicaba la captura de 1 $MtCO_2$ anuales que correspondían al 3% de las emisiones de CO_2 de Noruega en 1990 (ver Figura III.13) (Statoil, 2010).

Figura III.13 Proyecto Sleipner.

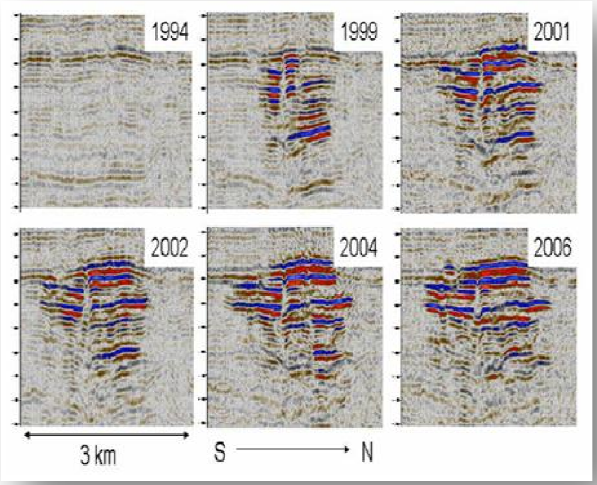


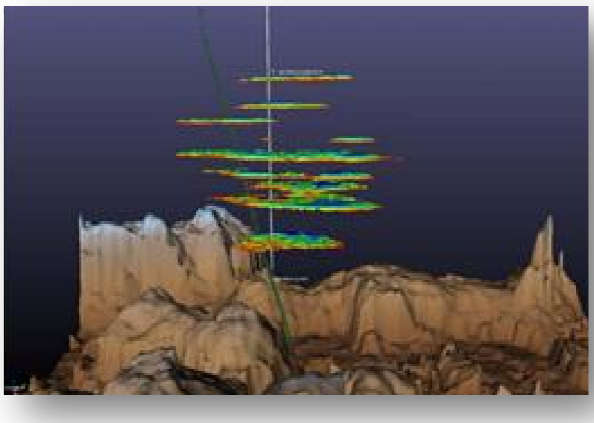
Fuente: (Statoil, 2005)

En el campo, la remoción de CO_2 del gas natural se realiza utilizando una solución de agua y MDEA que fluye a contracorriente. El CO_2 absorbido por el solvente se regenera mediante expansión instantánea (IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2010).

La formación Utsira se encuentra a 800 m debajo del fondo marino y está formada por una capa de arenisca de 300 m de grosor con un contenido de arena entre 90 y 98%. La porosidad promedio es de 35 – 40% y posee permeabilidades en el rango de 1-8 Darcy. Diferentes estudios sísmicos, han demostrado que el 66% del CO_2 inyectado no ha llegado al límite superior de la formación, sino que ha migrado de manera lateral debajo de los sellos que se encuentran dentro de la formación. Alrededor del 40% del CO_2 ha entrado en los sistemas porosos, mientras que una fracción desconocida del CO_2 restante migrará hacia el límite superior de la formación (Christian, Hermandrud et al., 2009: 1997-2004) (ver Figura III.14).

Figura III.14 Información sísmica que revela la presencia de CO_2.





Fuente: (Hermanrund, 2009)

StatoilHydro es líder en la inyección y almacenamiento de CO_2 y a finales de 2007 comenzó un nuevo proyecto con la producción de gas natural del campo Snøhvit. En este proyecto, el gas natural es enviado a una instalación al norte de Noruega donde se separa el CO_2. Desde abril de 2008, el CO_2 separado, se regresa al mar y se inyecta a la formación Tubåen, a 2,500 m debajo del fondo marino. Este proyecto busca el almacenamiento de 700,000 tCO_2 anuales (Statoil, 2008).

III.5.6 Proyecto In Salah

El proyecto In Salah se localiza en Argelia y en este proyecto, el gas producido por los campos Tegentour y Reg, es deshidratado y mandado por tubería (120 km) a una instalación de procesamiento de gas en Krechba, donde se mezcla con gas de un campo local. El gas natural llega a Krechba a 86 bar y contienen aproximadamente 5.5% de CO_2 en volumen. Para reducir el contenido de CO_2 a 0.3%, el CO_2 se separa del gas natural utilizando un proceso químico de BASF que utiliza MDEA activada. La instalación produce 1.4 MMPCD con una pureza de 98% a una presión de 1.4 bar. Antes de ser reinyectado, el CO_2 es comprimido a una presión de 185 bar debido a que la permeabilidad del yacimiento es baja. El CO_2 es almacenado en un yacimiento de gas agotado y en una formación salina (ver Figura III.15) (InSalahCO_2, 2010).

Figura III.15 Proyecto In Salah.

Fuente: (KBR & British Petroleum, 2010)

Durante la vida del proyecto, se han probado más de 20 técnicas de monitoreo para detectar el movimiento del CO_2, incluyendo técnicas geofísicas, geomecánicas y

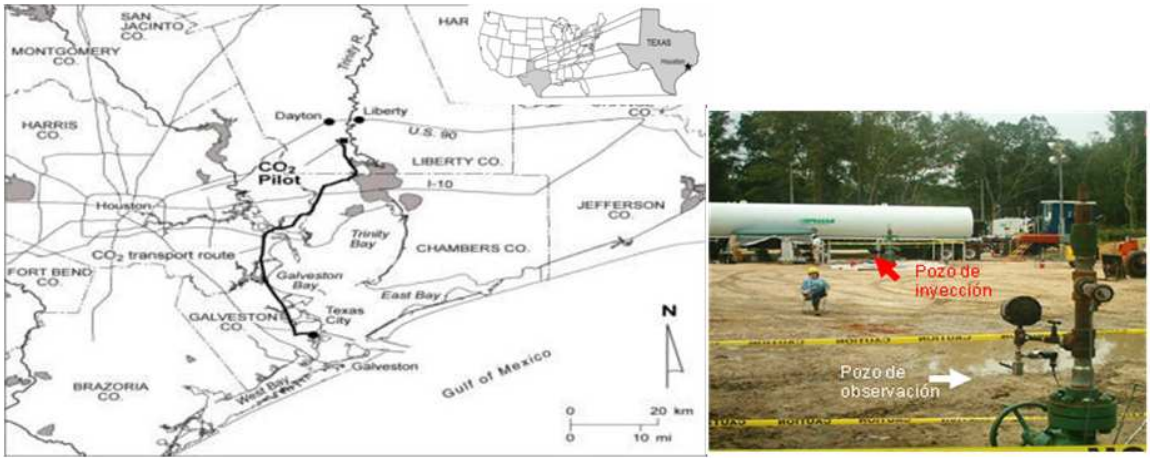
Folio No. 00232

geoquímicas. Una técnica de monitoreo que ha sido utilizada de manera exitosa en In Salah es la creación de imágenes a través de satélite (INSAR). Otras técnicas de monitoreo utilizadas incluyen trazadores químicos (perfluorocarbonos), el muestreo de fluidos y presión, y microsísmica. A partir de 2009, se han realizado estudios sísmicos 3D que detectará el movimiento de CO_2 a partir de diferencias de densidad entre el CO_2 y el agua en la formación.

III.5.7 Proyecto piloto Frio Brine

El proyecto piloto Frio Brine fue un esfuerzo interinstitucional en los Estados Unidos que demostró la inyección segura de CO_2 en una salina, además de que probó diferentes técnicas de monitoreo así como la validez de los modelos hidrológicos y geoquímicos. El proyecto fue guiado por la Oficina de Geología Económica (BEG) de la Escuela Jackson de Geociencias de la Universidad de Texas en Austin con la colaboración del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL). El proyecto Frio Brine se realizó en la formación Frio que se encuentra en Texas al este de Houston. En el experimento de corta duración, se inyectaron 1,600 tCO_2 a la formación salina Frio C que se encuentra a 1500 m de la superficie. El CO_2 se inyectó en un yacimiento agotado de petróleo y para ello se construyó un pozo de inyección utilizándose un pozo existente para el monitoreo. La formación está limitada por la formación Anahuac que es un sello natural de esquisto (ver Figura III.16).

Figura III.16 Proyecto Frio Brine en Texas, EU

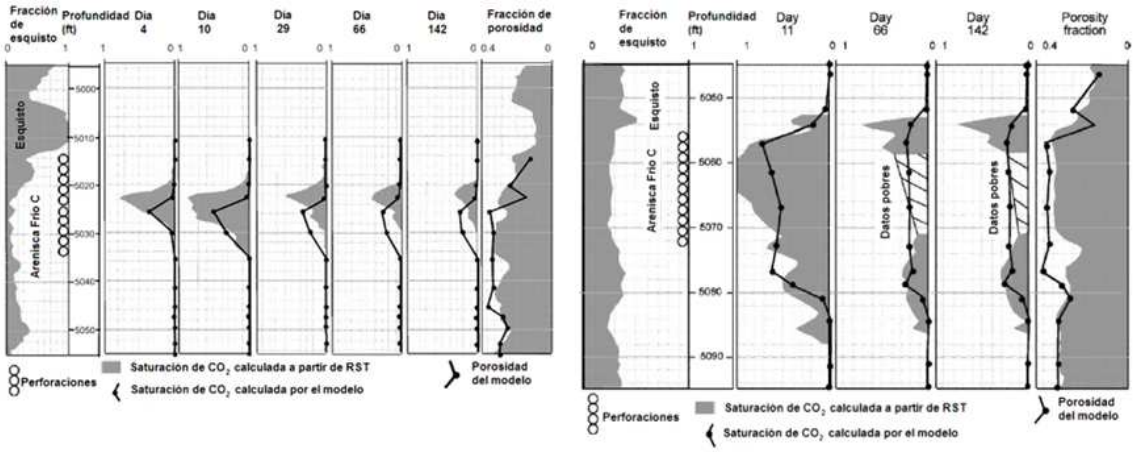


Fuente: Centro Mario Molina, con información del proyecto Frio Brine Pilot (2009)

Para este experimento, se utilizó CO_2 de alta calidad que fue suministrado por Praxair. El CO_2 estaba almacenado como líquido y con un cambiado de calor se calentó e inyectó al yacimiento de manera que llegó a la formación como un fluido supercrítico. Una vez en el yacimiento, la pluma de CO_2 se monitoreó utilizando diferentes técnicas. Se realizó el registro de pozos utilizando la herramienta RST descrita en la Tabla III.14 determinándose un 35% de porosidad y 125,000 ppm de salinidad, además de que se pudo comprobar que el CO_2 fue atrapado por la formación (ver Figura III.17).

Folio No. 00233

Figura III.17 Saturación de CO_2 en el pozo de observación e inyección calculada a partir de los registros RST y comparada con los resultados del modelo.

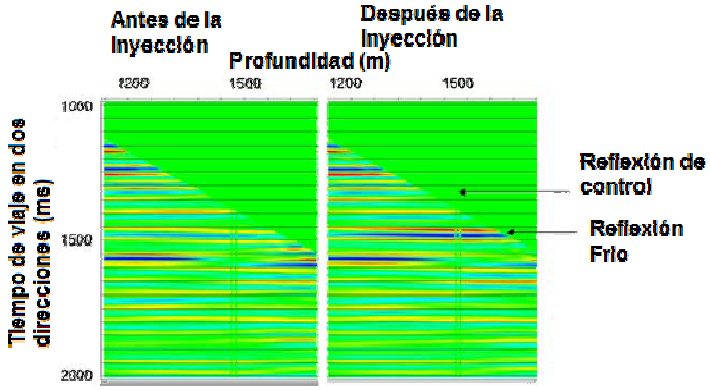


Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

El experimento también empleó técnicas geofísicas de perfil sísmico vertical y sísmica crosswell.

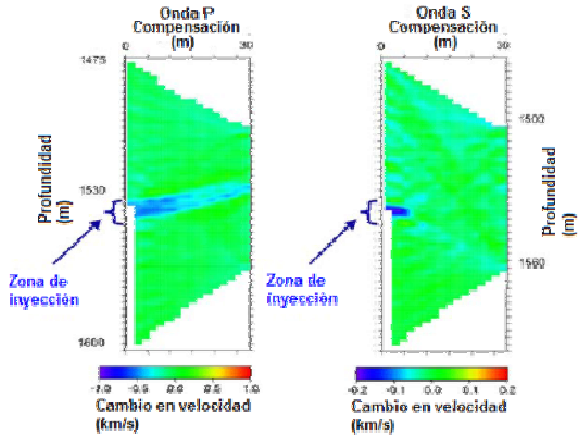
- **Perfil Sísmico Vertical (VSP):** Se detectó y realizó el mapeo de la pluma de CO_2 en la vecindad del pozo de inyección (ver Figura III.18).
- **Sísmica Crosswell:** Se obtuvo una imagen del cambio de velocidad debido a la inyección de CO_2 (ver Figura III.19).

Figura III.18 Comparación de la amplitud de reflexión (VSP).



Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

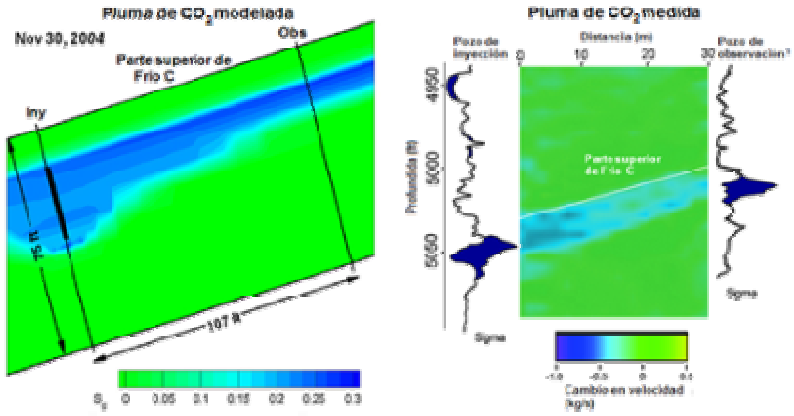
Figura III.19 Imagen del cambio en velocidad de las ondas P y S a partir del estudio Crosswell.



Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

El muestro geoquímico se realizó a través de tubo U permitiendo llevar a cabo mediciones de alcalinidad, pH, y composición del fluido. El uso de trazadores químicos inyectados junto con el CO_2, permitió determinar de manera precisa la llegada del CO_2 al pozo de monitoreo. La medición de la presión fue de utilidad para determinar parámetros necesarios (permeabilidad k y porosidad φ) para la simulación de la pluma. El uso de un simulador mejoró la comprensión del comportamiento del CO_2 en el yacimiento, pero además resultó ser una herramienta efectiva para el diseño de la inyección y de selección de sitios para el almacenamiento geológico de CO_2 (ver Figura III.20).

Figura III.20 Comparación de la pluma modelada y la pluma medida por la sísmica Crosswell.



Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

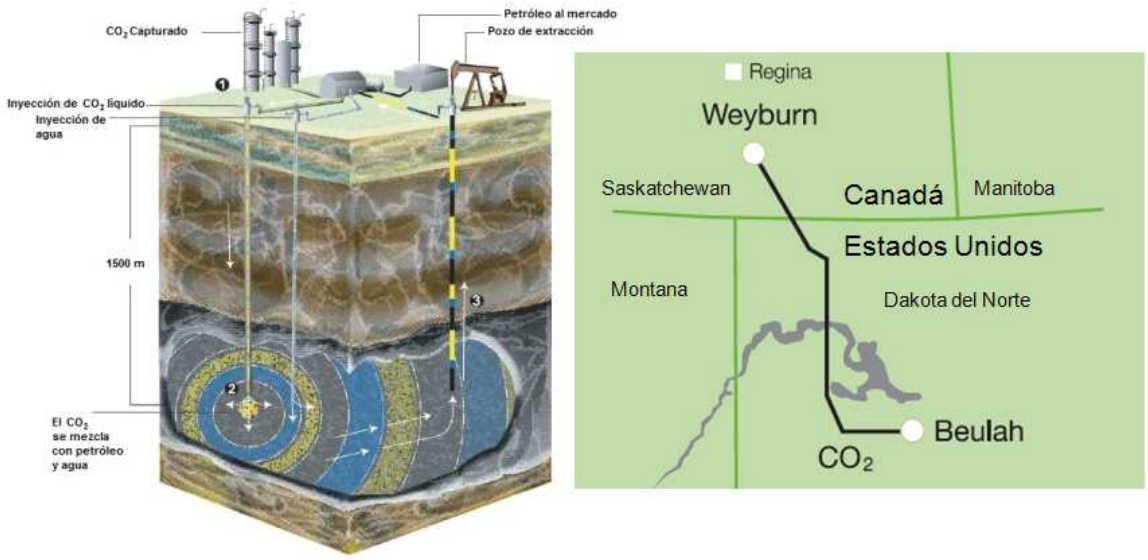
III.5.8 Recuperación mejorada de petróleo (EOR)

La recuperación mejorada de petróleo con CO_2 (EOR) es una técnica que ha sido utilizada desde hace varias décadas para recuperar crudos pesados una vez que la recuperación primaria y secundaria ha alcanzado su límite. De acuerdo con la IEA, la recuperación utilizando CO_2, se ha convertido en la segunda técnica de más utilizada después del vapor de agua. La técnica está limitada a campos petroleros con una profundidad mayor a 700 m y que poseen un mínimo del 20% - 30% del petróleo original y en los que se han aplicado métodos de recuperación secundaria (OCDE/IEA, 2008).

III.5.8.1 Proyecto IEA GHG Weyburn

El Proyecto de monitoreo y almacenamiento de CO_2 IEA GHG Weyburn es el proyecto de recuperación mejorada de petróleo (EOR) más representativo del mundo, ya que lleva operando desde el año 2000 y tiene como objetivo la creación procedimientos que sirvan de guía para la implementación de proyectos EOR en el futuro. El proyecto es administrado por el Centro de Investigación de Tecnología Petrolera (PTRC) y EnCana Resources, y cuenta con el apoyo de 15 participantes de varias regiones del mundo. Este proyecto se localiza al sureste de la provincia de Saskatchewan en Canadá. El campo extrae 18,200 barriles diarios de petróleo ácido de mediana gravedad de las capas Midale de la formación Mississipian Charles (ver Figura III.20) (IEA GHG Weyburn, 2008).

Figura III.21 Esquema y ubicación del proyecto Weyburn.



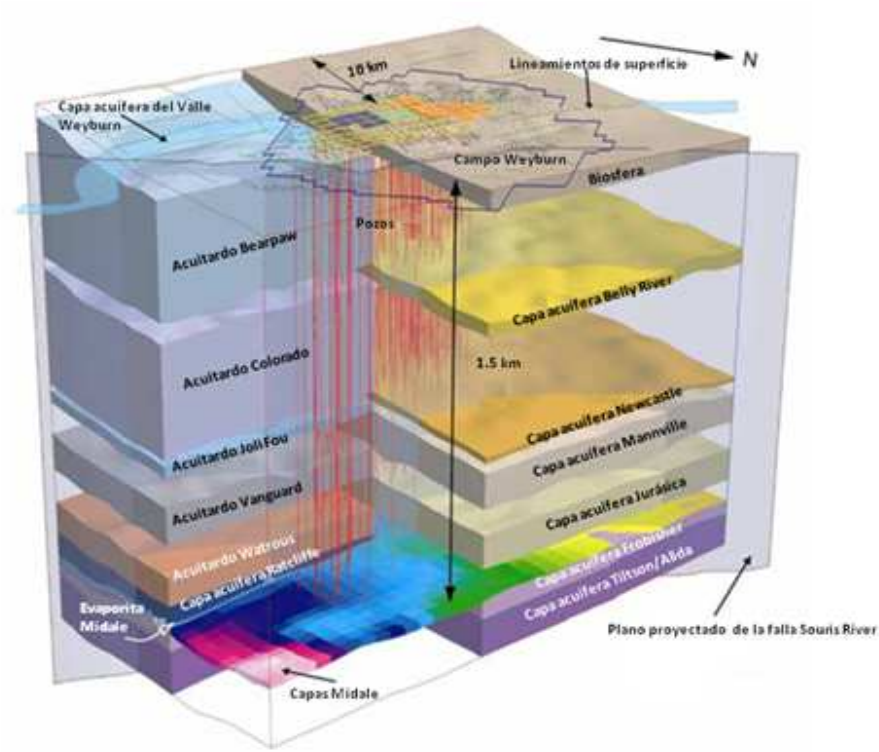
Fuente: (Centro Mario Molina con información de IEA GHG Weyburn)

Se busca el almacenamiento de 20 $MtCO_2$ durante todo el proyecto. Cabe destacar que el CO_2 con una pureza del 95% utilizado proviene de la planta Dakota Gasification Company de producción de combustibles sintéticos localizada en Dakota del Norte, Estados Unidos. El CO_2 se transporta a través de 330 km de tubería hasta el campo para ser inyectado a al campo Weyburn. El proyecto consideró cuatro ejes principales a través de los cuales se enfocó la investigación. Estos puntos incluyeron la caracterización geológica, la evaluación

Folio No. 00236

del movimiento de CO_2, la simulación de la distribución de CO_2 y la evaluación de riesgos. Para el primer punto, se realizó una evaluación de las características geológicas del yacimiento, así como de sus alrededores de manera que se pudieran conocer las condiciones geológicas en las que se almacenaría el CO_2. Esta evaluación incluyó aspectos como mecanismos de captura, sellos, asilamiento hidráulico, régimen hidrogeológico y fallas o fracturas por las que podría migrar el CO_2. A partir de esta evaluación, se determinó que el yacimiento se encuentra en una zona tranquila en términos tectónicos, con sellos firmes sin la presencia de flujo de fluidos. Una vez inyectado el CO_2, el movimiento de la pluma de CO_2 se monitoreó y verificó. Se evaluó y mejoró la predicción del movimiento de CO_2 además de que se estudiaron los mecanismos de almacenamiento a largo plazo. El estudio comprendió también el análisis del comportamiento del yacimiento una vez inundado con CO_2 (ver Figura III.22).

Figura III.22 Diagrama de la geología del campo Weyburn.



Fuente: (Wilson y Monea, 2004).

Lo mencionado anteriormente se realizó a través de diferentes técnicas sísmicas y geoquímicas de monitoreo que proporcionaron mejores parámetros para la simulación del movimiento de CO_2, así como una mejor comprensión del proceso.

Para conocer la dispersión de CO_2, se realizó el muestreo del yacimiento a través de la medición de presiones, volúmenes de fluidos inyectados y formados a partir de la inyección, análisis químico de gas de suelo, así como estudios sísmicos.

Folio No. 00237

Monitoreo sísmico. Se realizaron estudios sísmicos 3D antes y después de la inyección, estudios 4D. Con estos estudios fue posible ver la pluma de CO_2 y detectar su presencia hasta en pequeñas cantidades.

Monitoreo geoquímico. Se analizaron químicamente los fluidos resultantes de la inyección de CO_2 y de gases trazadores, lo cual fue de utilidad para comprender los procesos químicos que se llevan a cabo dentro del yacimiento y del mecanismo de captura geológica del CO_2. Los procesos geoquímicos observados fueron la disolución de CO_2 en la salmuera, la disolución de carbonatos y el incremento de la cantidad total de sólidos disueltos. El estudio geoquímico comprendió el estudio de los niveles de CO_2 en la superficie en la zona de inyección para verificar que no haya fugas. Al igual que el monitoreo sísmico el monitoreo geoquímico pudo revelar el movimiento de CO_2.

Una parte importante del proyecto, consistió en determinar los parámetros de evaluación de factibilidad económica y técnica aplicable a proyectos EOR con almacenamiento geológico de CO_2. Para ello, se utilizó la simulación de yacimientos así como el desarrollo de un modelo económico.

Simulación de yacimientos: Comenzó con simulaciones de patrones sencillos de redes finas detalladas y concluyó con redes gruesas. Las predicciones del CO_2 inyectado coincidieron con los estimados de EnCana.

Modelo económico: Provee una evaluación del límite económico de proyectos de almacenamiento de CO_2. El modelo puede predecir límites de volúmenes de CO_2 que pueden ser almacenados económicamente como función del valor de créditos de CO_2 recibidos y la tasa de retorno deseada para la operación. El modelo permite además realizar evaluaciones para la economía de una oportunidad de almacenamiento específica, incluyendo la fuente, el sistema de transporte y el proyecto de almacenamiento; y el análisis de de la sensibilidad de los resultados para diferentes parámetros económicos.

A partir del estudio económico y técnico, fue posible el análisis de riesgos de fugas potenciales y migración de CO_2, así como la capacidad de almacenamiento y el límite económico. El estudio de los mecanismos de captura geológica de CO_2, determinó que la captura de CO_2 como una sola fase supercrítica domina los mecanismos. Otros mecanismos descritos en la literatura del proyecto es la captura iónica o por solubilidad, que considera la captura del CO_2 en agua en forma de iones y complejos HCO_3^-, CO_3^{2-}. $NaCO_3$, al igual que la formación H_2CO_3. La captura mineral considera la incorporación del CO_2 a una fase mineral. Las simulaciones determinaron el potencial máximo de almacenamiento del yacimiento como de 45.15 Mt. También determinaron la cantidad de CO_2 que sería almacenado para cada uno de los mecanismos mencionados anteriormente. Se determinó que el 26.5% del CO2 inyectado se encontrará fuera del área EOR, de cuales el 18.2% se mueven hacia la geosfera debajo del yacimiento, 8.6% lateralmente fuera del área EOR y 0.02% encima del yacimiento. La fuga de CO_2 estimada fue del 0.001% al final del proceso, además de que existe un 95% de probabilidad de que el 98.7 – 99.5% del CO_2 inyectado al inicio del proyecto, quede confinado en el yacimiento por 5,000 años.

A partir del proyecto Weyburn se ha concluido que el yacimiento es adecuado desde el punto de vista económico y geológico para el almacenamiento permanente de CO_2. El proyecto pudo evaluar de manera exitosa diferentes técnicas de monitoreo además de que se comprendió de mejor manera los mecanismos de captura geológica, así como el comportamiento del yacimiento. Las investigaciones realizadas en el yacimiento, como el

comportamiento de fases del CO_2 determinaron que existe y se mantiene la miscibilidad entre el CO_2 y el petróleo del yacimiento a lo largo de la operación. Además, se encontró que la variación natural de permeabilidad entre núcleos era más importante que el impacto de la composición cambiante de petróleo y gas reciclado.

La recuperación mejorada de petróleo (EOR) es una técnica que es considerada debido a los beneficios económicos que puede traer la extracción adicional de petróleo después de la extracción primaria y secundaria del mismo. Su combinación con el almacenamiento geológico de CO_2 también podrá traer beneficios ambientales y es por ello que se presenta como una opción atractiva para México. A nivel internacional, existen varios proyectos que han sido desarrollados o que se encuentran en fase planeación para explotar esta tecnología. La Tabla III.15 muestra algunos de esos proyectos.

Folio No. 00239

Tabla III.15 Proyectos internacionales EOR.

Proyecto	Compañías/Alianzas	Localización	País	Materia prima	Destino del CO_2	Inicio de operaciones (Año)	Características
Zama	PCOR, Apache Canada Ltd	Cerca de Zama City, Alberta	Canadá	Procesamiento de gas. El CO_2 contiene H_2S.	-Basamento Zama Keg River a una profundidad de 1470m. - Este basamento contiene más de 800 arrecifes de pináculos.	2006	- Apache utilizó gas ácido que anteriormente era mandado a una planta de recuperación de azufre. - Apache cerró la planta y el CO_2 y H_2S se utilizaron para EOR. - El campo continúa su producción a una tasa de 100 barriles por día.
Sargas Husnes	Tinfos AS, Sør-Norge Aluminium AS, Eramet Norway AS, y Sargas AS	Husnes, municipio de Kvinnherad en Hordaland	Noruega	Planta de carbón (400MW).	Mar adentro, en un campo petrolero del Mar del Norte.	2008	- El carbón será quemado a altas presiones, creando una presión de gases de escape 20 veces mayor que para plantas convencionales. - El método captura será post-combustión y mayor al 95%.
Williston	Plains CO_2 Reductions Partnership (PCOR) University of North Dakota Energy and Environmental Research Center, Basin Electric Power Cooperative & Encore Energy	Noroeste de Dakota	Estados Unidos	- Planta de carbón retroalimentada en el noroeste de Dakota (450MW). - La captura se hará a partir de los gases de combustión.	- EOR en el basamento Williston operado por Encore Acquisition Company. - El almacenamiento está planeado en un yacimiento salino de carbonatos a una profundidad de aproximadamente 3,000 m.	2010	- Se estima que el basamento tiene una capacidad de almacenamiento de 1,000 millones de toneladas. - El almacenamiento podrá darse en la formación devoniana Duperow o en el grupo Missippian Madison. - La presión y temperatura de trabajo será de 4,900psi y 121℃. - La captura se llevará a cabo en la estación eléctrica Antelope Valley de Basin Electric Power Cooperative en Dakota del Norte. - El CO_2 capturado va a ser combinado con CO_2 proveniente de la planta Great Plains Synfuels y transportado por medio de 253

Folio No. 00240

Proyecto	Compañías/Alianzas	Localización	País	Materia prima	Destino del CO_2	Inicio de operaciones (Año)	Características
							km de tubería.
EAP Alstom Northeastern	American Electric Power (AEP) junto con Alstom	Estación Northeastern, Oologah, Oklahoma	Estados Unidos	Unidad de conversión de carbón (200MW).		2011	
Antelope Valley	- Basin Electric - Powerspan Corporation	Estación Antelope Valley, Beulah, Dakota del norte	Estados Unidos	Planta de carbón a partir de una unidad de 450MW y del flujo equivalente a una unidad de 120MW.	El CO_2 será capturado en la planta y mandado la tubería de la planta Dakota Gasification's Synfuels, que llega a Canadá para EOR.	2012	- Se estima capturar un 90% del CO_2, utilizando captura post-combustión con amoníaco.
WA Parish	- NRG Energy - Powerspan Corporation	Planta WA Parish, Houston, Texas	Estados Unidos	El proyecto se llevará a cabo en la planta de carbón WA Parish, a partir de una corriente de gases de escape equivalente a una unidad de 125 MW.	Campos petroleros.	2012	- La captura corresponde a un proceso de oxidación electrocatalítica basado en una solución de amoniaco. - La planta WA Parish es uno de los mayores emisores de CO_2 en los Estados Unidos, por lo que el proyecto podrá reducir en 90% las emisiones. - El proceso de captura ha sido probado de manera exitosa a nivel piloto (1 - 5MW).
Proyecto UAE	- Abu Dhabi Future Energy Company (Masdar) - Hydrogen Energy International (HEI)	Puerto y zona industrial de Khalifa en Taweelah	Emiratos Árabes Unidos	Planta de conversión de gas natural a hidrógeno y CO_2 de 420 MW.	Capos petrolíferos de los Emiratos Árabes Unidos.	2012	- Se planea construir una ciudad con bajas emisiones de carbono en Abu Dhabi, que incluye en proyecto de captura y almacenamiento de carbono. - La meta del proyecto es reducir en un 40% las emisiones de CO_2. A finales del 2007, SNC – Lavalin, completó el estudio de factibilidad

Folio No. 00241

Proyecto	Compañías/Alianzas	Localización	País	Materia prima	Destino del CO_2	Inicio de operaciones (Año)	Características
							y en noviembre del 2008, una firma de ingeniería de Texas obtuvo el contrato de diseño. - En febrero de 2009, se anunció el atraso del proyecto por un año, debido a problemas técnicos.
Tenaska	Tenaska Inc.	Sweetwater, Texas	Estados Unidos	Planta de carbón supercrítica (600MW).	Depósitos de petróleo del Oeste de Texas para mejorar la producción de petróleo en el basamento Permiano.	2014	- La captura se espera que sea de hasta un 90%. - El proyecto espera suministrar suficiente CO_2 para producir 1 millon de barriles de petróleo adicionales en Texas.
HECA	- Hydrogen Energy International (HEI). Grupo de compañías cuyos dueños son BP Alternative Energy y Rio Tinto. - Occidental Petroleum.	Condado de Kern, California	Estados Unidos	IGCC a partir de coque de petróleo y carbón, si es necesario (390MW).	- Campo petrolero Occidental's Elk Hills. - Existen otros campos cercanos con potencial EOR.	2015	Está proyectado capturar el 90% de las emisiones.
Boundary Dam	- SaskPower - Hitachi Ltd - Babcock &Wilcox Canada Ltd - Neill and Gunter Ltd - Air Liquide	Planta eléctrica Boundary Dam, Estevan, Saskatchewan	Canadá	Retroalimentación de planta de carbón (100MW).		2015	- La tecnología de captura es oxy-fuel con una meta de captura del 90%.
Bow City	- Bow City Power Ltd. (BCPL) - Luscar	Bow City, Alberta	Canadá	Planta de carbón supercrítica (1,000MW).	Recuperación mejorada de petróleo en campos localizados cerca de la planta.	2014	- Se espera remover entre un 80 y 90% de CO_2. - La tecnología de captura consistirá en un sistema de contacto con aminas.

Folio No. 00242

Proyecto	Compañías/Alianzas	Localización	País	Materia prima	Destino del CO_2	Inicio de operaciones (Año)	Características
AMPGS	- American Municipal Power-Ohio, Inc. (AMP-Ohio) - Bechtel Power Corporation (Bechtel) - Powerspan Corporation	Condado de Meigs, Ohio	Estados Unidos	Planta de carbón pulverizado, IGCC (1,000MW).		2015	- La planta utilizará una solución basada en amoniaco para capturar el CO_2. - La planta utilizará la tecnología de Powerspan para remover dióxido de azufre.
Powerfuel Hatfield	- Powerfuel - Kuzbassrazrezugol (KRU) - Shell UK	Hatfield Colliery, South Yorkshire	Reino Unido	IGCC a partir de carbón (900MW).	Mar adentro, en un campo petrolero del Mar del Norte.	Pendiente	
Polygen	- SaskPower - TransCanada Energy	Belle Plain, Saskatchewan	Canadá	IGCC a partir de coque de petróleo y carbón (300 MW).	Se considera Weyburn	Pendiente	- El estudio de prefactibilidad comenzó en 2007. - Se considera la utilización del gas de síntesis en la mina Mosaic Potash, en la planta de fertilizantes Saskferco, en turbinas de gas o para ser convertido en hidrógeno que utilicen plantas químicas.
Cash Creek	- Erora Group	Cash Creek, Kentucky	Estados Unidos	IGCC de 630 MW.		2012	
Great Bend	- AEP	Meigs County, Ohio	Estados Unidos	IGCC de carbón (629 MW).		2012	- El proceso utiliza Selexol.
Great Lakes Energy Research Park	- M&M Energy	Alma, Michigan	Estados Unidos	IGCC de carbon (759 MW).			

Folio No. 00243

Proyecto	Compañías/Alianzas	Localización	País	Materia prima	Destino del CO_2	Inicio de operaciones (Año)	Características
Zero Emission Natural Gas (ZENG) Worsham – Steed	- CO2-Global - Falcon Gas Storage	Worsham – Steed, Texas	Estados Unidos	Oxy-fuel utilizando gas natural (70MW).	Campo Worsham – Steed		- El proyecto podrá recuperar 5 – 10 millones de barriles. - El desarrollo de la tecnología, el diseño de proceso y la ingeniería se realizará en el periodo 2007 – 2009. - El proyecto servirá como base para su expansión a una planta de 200 MW y otros proyectos.
TX Energy	- TX Energy (Subsidiaria de Eastman Corp.) - Green Rock Energy	Beaumont, Texas	Estados Unidos	Instalación de producción de hidrógeno y gas de síntesis a partir de coque de petróleo.		2011	
Kemper County	- Mississippi Power - Southern Company	Kemper County, Mississippi	Estados Unidos	IGCC a partir de carbón (582 MW).		2013	- El porcentaje de captura será del 25%.
Lima	- Global Energy - Lima Energy Company	Lima, Ohio	Estados Unidos	IGCC a partir de carbón, coque de petróleo y residuos sólidos municipales (600 MW).		2010	- Producción de gas natural sintético e hidrógeno.

Folio No. 00244

Proyecto	Compañías/Alianzas	Localización	País	Materia prima	Destino del CO_2	Inicio de operaciones (Año)	Características
Mesaba	Excelsior Energy	Norte de Minnesota	Estados Unidos	IGCC a partir de carbón (606 MW).		2012 - 2013	
Dodds - Roundhill	Sherritt International		Canadá	IGCC a partir de carbón.		2011	
Genesee	EPCOR		Canadá	IGCC a partir de carbón (420 MW).		2011	

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

Folio No. 00245

III.5.8.2 Proyectos EOR en México

El Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2009 – 2018 (POISE) de la CFE considera a las plantas IGCC, así como a las centrales carboeléctricas como opciones tecnológicas de generación que formarán parte de su programa de expansión de capacidad en los próximos 10 años. PEMEX, a su vez, posee experiencia en la inyección de CO_2 para recuperación mejorada de petróleo (EOR) y a través del Instituto Mexicano del Petróleo, elaboró un estudio para identificar los campos en los cuales era necesario y posible llevar a cabo la recuperación mejorada de petróleo y gas, mediante diversas técnicas conocidas. Se identificaron 753 campos, de los cuales, 318 son adecuados para ser inyectados con CO_2 como gas impulsor de crudo. Además de la recuperación adicional de crudo, estos campos podrían ser utilizados para almacenar este compuesto, una vez que el yacimiento esté agotado (ver Figura III.23 y Figura III.24).

El establecimiento de la infraestructura necesaria para el desarrollo de la tecnología de captura y almacenamiento geológico de carbono requiere el análisis de las diferentes opciones tecnológicas disponibles en México y en el mundo, que incluyen los procesos industriales a partir de los que se puede capturar el CO_2, el modo de transporte del CO_2 capturado y los sitios potenciales donde será almacenado geológicamente. Las tecnologías documentadas en los apartados siguientes, así como las experiencias nacionales e internacionales, constituyen los antecedentes para trazar el camino que México podrá seguir para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y abastecer su demanda de energía en el futuro.

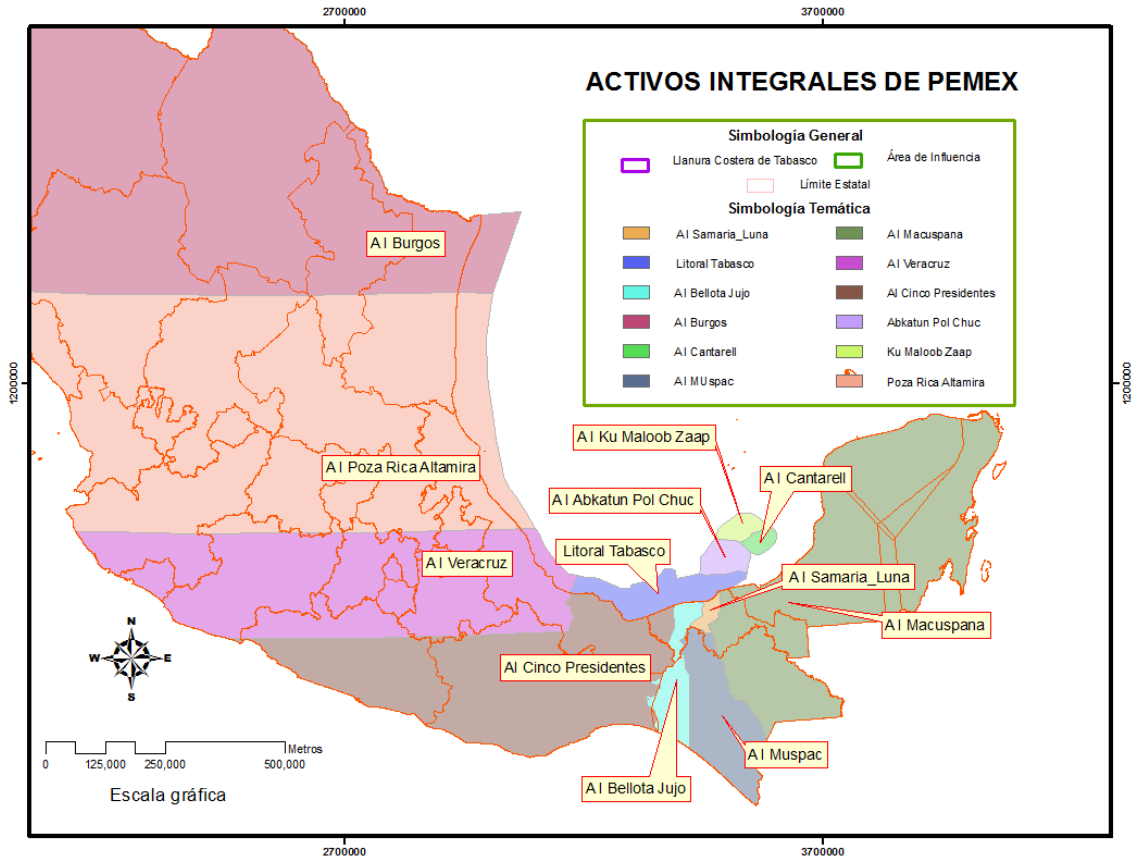
Folio No. 00246

Figura III.23 Cuencas de petróleo y gas de México.

Fuente: (Guzmán, 2001)

Folio No. 00247

Figura III.24 Activos integrales de PEMEX:



Fuente: (PEMEX, 2010)

Folio No. 00248

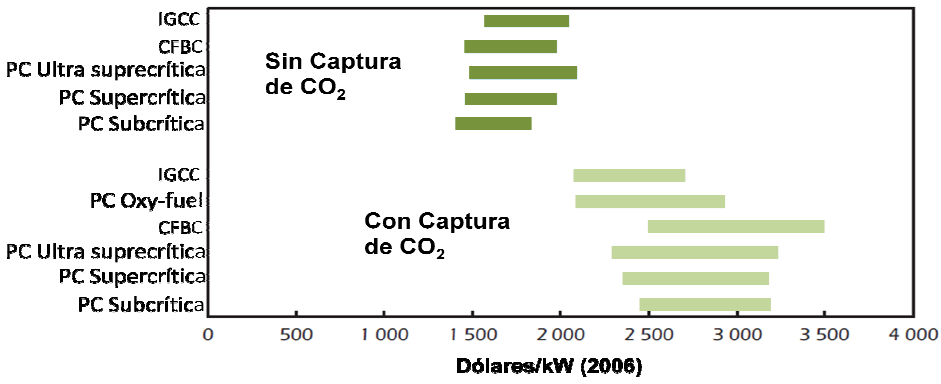
III.6 Análisis de Costos Internacionales

La captura y almacenamiento geológico de CO_2 es considerado por muchas instituciones y gobiernos como una alternativa a la reducción de gases de efecto invernadero y es por ello que en los últimos años esta tecnología ha cobrado gran importancia. Diversas instituciones como la IEA, el MIT, el DOE y el Global CCS Institute, han reconocido la trascendencia de estas tecnologías y han estimado sus costos. En este apartado se presentan dichos estudios y sus resultados. La IEA realizó en el año 2008 un estudio sobre la viabilidad de la utilización de las tecnologías de captura y almacenamiento geológico de CO_2 (IEA, 2008) para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En dicho estudio, se presentó un análisis de los costos de las tecnologías de generación de electricidad con y sin captura de CO_2. Los costos de inversión para las distintas tecnologías varían en un amplio rango dependiendo de varios parámetros como el tipo de planta, su eficiencia, requerimientos energéticos de los sistemas de captura.

Como se observa en la Figura III.25, los costos para las plantas se incrementan entre un 50 y 100% al incorporar la captura de CO_2. La tecnología que presenta el menor costo una vez adicionada la captura de CO_2 es la tecnología IGCC, que sin captura presenta los mayores costos. Los costos de captura en plantas operadas con carbón están básicamente asociados a:

- La limpieza de gases y la eliminación de partículas en las plantas de post-combustión.
- La pérdida de eficiencia eléctrica, lo que significa que es necesario tener más capacidad de planta para poder tener la misma producción de electricidad.
- El costo de los equipos de captura, como son las unidades de absorción.
- El costo del combustible para operar el proceso de captura.

Figura III.25 Costo de inversión para plantas de generación de energía eléctrica con carbón al año 2010.



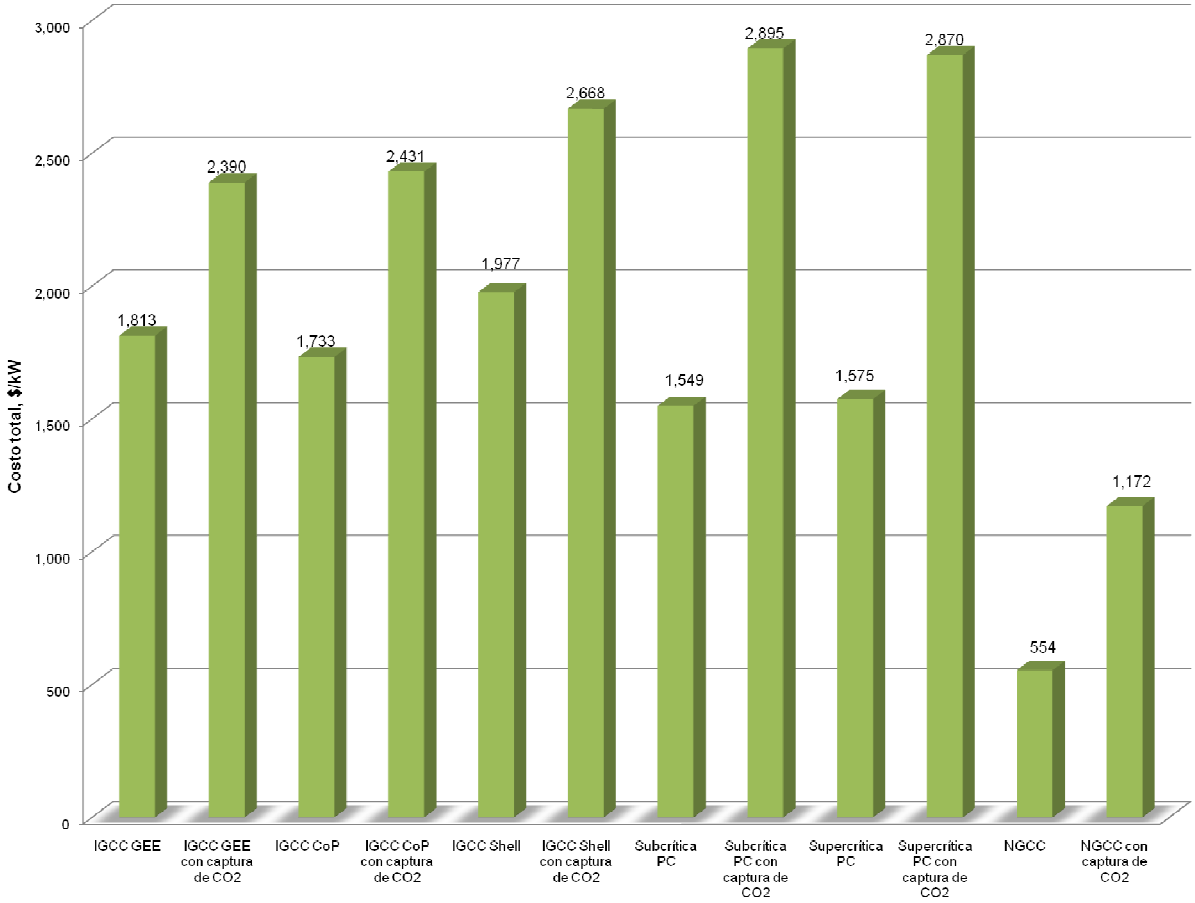
Fuente: (IEA, 2008)

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) realizó en el año 2007 (DOE, 2007) un estudio detallado de sistemas de de generación de electricidad basados en combustibles fósiles, en el que presentó costos, eficiencia energética, uso de agua y reducción de emisiones de contaminantes. El estudio tomó como base plantas con una

Folio No. 00249

producción nominal de 550 MW y los sistemas analizados fueron plantas de ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC), carbón pulverizado subcríticas y supercríticas (PC) así como ciclo combinado de gas natural (NGCC). La metodología para realizar la evaluación incluyó el uso de simuladores de proceso, reportes publicados, información obtenida de vendedores y usuarios de la tecnología, datos de desempeño, y criterios de ingeniería. El costo total de las plantas para cada tecnología se determinó a través de la combinación de costos proporcionados por los fabricantes y vendedores de equipo, así como costos estimados escalados de proyectos previos, o una combinación de los dos. El costo total incluye todo el equipo, materiales, mano de obra, ingeniería, administración de construcción y contingencias (ver Figura III.26).

Figura III.26 Costo total de las plantas de acuerdo con el DOE.



Fuente: (DOE, 2007)

Las plantas NGCC sin captura de CO_2, tienen el costo de capital más bajo (554 dólares/kW) seguido por las plantas PC con un costo promedio de 1,562 dólares/kW y las plantas IGCC con un costo promedio de $1,841/kW. El costo promedio de plantas IGCC es 18% más grande que le de plantas PC. Para los casos con captura, el mayor costo capital corresponde a plantas PC ($2,883/kW). El costo promedio para platas IGCC es de $2,496/kW, que es un 13% menor al costo de plantas PC. Los costos nivelados de electricidad a 20 años para plantas PC tienen el menor valor con un promedio de 63.7

Folio No. 00250

mills/kWh, seguidas por plantas NGCC (68.4 mills/kWh) y plantas IGCC con un promedio de 77.9 mills/kWh; sin considerar la captura de CO_2. Para los caso con captura, las plantas NGCC tienen el valor más bajo (97.4 mills/kWh), seguidas por IGCC (106.3 mills/kWh) y PC (116.8 mills/kWh). El costo de captura del CO_2 fue calculado utilizando el costo de CO_2 removido y el costo de CO_2 evitado. A partir de los cálculos realizados, se concluyó que el costo total de CO_2 evitado es \$39/tCO_2 (promedio IGCC), \$68/tCO_2 (promedio PC) y \$83/tCO_2 (NGCC). Los costos evitados y de remoción de CO_2 para las plantas IGCC son sustancialmente menores que para plantas PC y NGCC debido a que la captura de CO_2 se lleva a cabo antes de la combustión a una presión elevada utilizando absorción física.

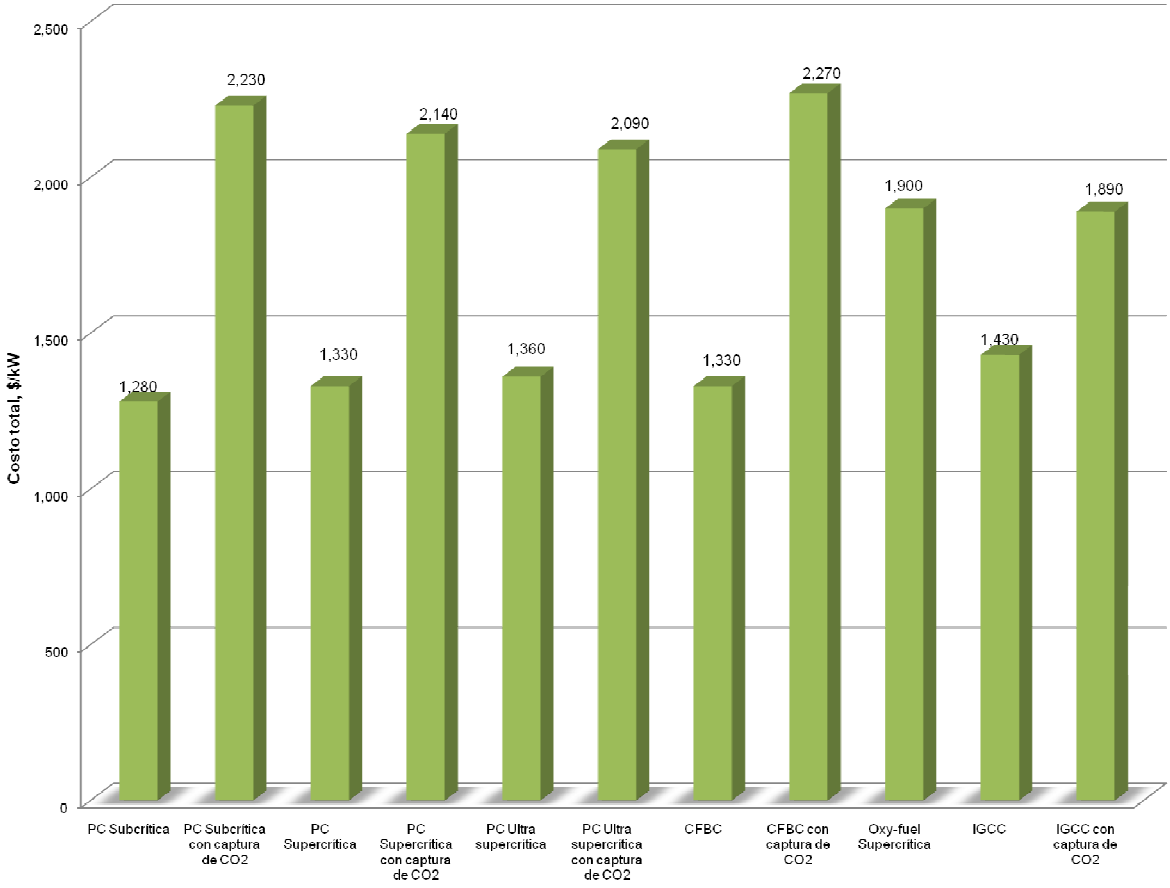
En el año 2007, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), realizó un estudio en el que se analizó el papel del carbón como combustible que podría ser aprovechado de manera sustentable para la generación de energía eléctrica. En el estudio, se evaluaron distintas tecnologías incluyendo plantas de ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC), carbón pulverizado (PC) subcríticas, supercríticas, ultrasupercríticas y lecho fluidizado, así como oxy-fuel. En la Figura III.27, se muestra el costo de inversión de las diferentes tecnologías a dólares de 2005. Como se observa, la tecnología con el menor costo corresponde a la combustión de carbón pulverizado con operación subcrítica (1,280 dólares/kW). En este estudio, la tecnología IGCC presenta el costo más alto para plantas sin captura de CO_2 (1,430 dólares/kW). A pesar de lo anterior, la tecnología IGCC tiene el costo más bajo cuando se le agrega la captura de CO_2, 1,890 dólares/kW, que es similar al de la planta oxy-fuel analizada (1,900 dólarews/kW). Los costos nivelados de electricidad a 20 años para plantas PC sin captura de CO_2 tienen el menor valor con un promedio de 47.5 mills/kWh, seguidas por IGCC (51.3 mills/kWh) y oxy-fuel con un valor de 69.8 mills/kWh. Para los caso con captura, IGCC es la tecnología con el menor costo, 65.2 mills/kWh, seguido por oxy-fuel (69.8 mills/kWh) y un promedio de 77.5 mills/kWh para las plantas PC. El MIT analizó diferentes reportes de organizaciones como el DOE, y presentaron los resultados de estos reportes modificados a precios de 2005. La Tabla III.17 presenta estos resultados.

Worley Parson evaluó para el Global CCS Institute los costos para tecnologías de generación de electricidad y procesos industriales. El análisis hecho por este instituto, incluyó todas las etapas del proceso de captura y almacenamiento geológico. La Tabla III.18 resume los resultados obtenidos en el estudio. El costo de CCS (dólares de 2009) para la generación de energía fue de 62 dólares a 112 dólares por tCO_2 evitado o de 44 dólares a 90 dólares por tCO_2 capturado. El costo más bajo fue para oxy-fuel, mientras que el más alto fue para NGCC con captura post-combustión. Los costos nivelados para PC supercrítica e IGCC fueron los más altos, mientras que los costos de NGCC fueron los más bajos.

El costo de generación de electricidad para las tecnologías consideradas en este estudio fue para IGCC y PC supercrítica de 134 dólares/MWh y de 138 dólares/MWh respectivamente. La tecnología de quema de gas natural presentó el costo más bajo (112 dólares/MWh). El incremento en los costos con aplicaciones de captura más bajo fue para IGCC (39%), seguido por NGCC (43%), oxy-fuel (55% – 64%) y PC supercrítica (75% – 78%). Este estudio además, determinó los costos para varios sectores industriales. El menor cambio entre el costo sin y con captura fue para el caso del procesamiento de gas natural (1%). La producción de fertilizantes correspondió a un cambio de costos entre 3 y 4%; mientras que la producción de acero y cemento presentaron los valores más altos.

Folio No. 00251

Figura III.27 Costo total de las plantas de acuerdo con el MIT.



Fuente: (MIT, 2007a)

El Centro Mario Molina realizó en el año 2009 un análisis económico de prefactibilidad de costos para la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles y la captura y almacenamiento geológico de CO_2 (Centro Mario Molina, 2009). En este estudio se analizaron diferentes opciones de generación (IGCC, PC supercrítica, PC de lecho fluidizado y NGCC), que la tecnología de lecho fluidizado representa la mejor alternativa a las opciones analizadas. El costo unitario de inversión para esta tecnología fue de 4,098 dólares/kW, con un costo nivelado de generación de 135 dólares/MWh y de 146 dólares/MWh considerando la captura y almacenamiento geológico de CO_2. Los costos de la tecnología se redujeron incorporando la recuperación mejorada de petróleo a 31 dólares/MWh a un precio de barril de petróleo de 60 dólares. En caso de que el precio del barril fuera de 70 dólares, se podrían cubrir todos los costos de producción e inversión. La Tabla III.16 contiene los costos de las opciones analizadas en el estudio. En el estudio se consideraron los posibles yacimientos en los que podría inyectarse CO_2 a partir del estudio realizado por el IMP. La Tabla III.19 muestra el potencial de almacenamiento para diferentes yacimientos.

Folio No. 00252

Tabla III.16 Costos finales de las tecnologías analizadas por el estudio del Centro Mario Molina.

Tecnología	IGCC 150 MW	IGCC 300 MW	PCSC 300 MW	LECHO FLUIDIZADO 300 MW	NGCC 250MW
Costo nivelado de generación	177.40	155.81	159.51	134.60	110.06
Costo nivelado de transporte/compresión	22.92	10.54	10.32	11.03	6.06
Costo nivelado de inyección/almacenamiento	0.60	0.31	0.24	0.24	0.32
Costo nivelado total	200.92	166.66	170.07	145.87	116.44
Recuperación mejorada de petróleo (EOR)	97.50	97.50	101.10	115.20	50.40
Costo total nivelado con EOR	103.42	69.16	68.97	30.67	66.04
Valor monetario de CO_2 capturado	11.73	11.73	12.17	13.86	6.07
Costo total nivelado con EOR y externalidades	91.69	57.43	56.80	16.81	59.97

Fuente: (Centro Mario Molina, 2009)

Folio No. 00253

Tabla III.17 Costos de alternativas de generación eléctrica de diferentes estudios.

Estudio	NETL (2002)	NETL (2002)	NCC (2004)	EPRI (2002)	NCC	Rubin*	EPRI (2002)	SIMBECK	NCC	EPRI (2002)	Rubin*	SIMBECK	NCC	NETL (2002)
Tecnología	Subcrítica PC	Subcrítica PC	Subcrítica PC	Supercrítica PC	Supercrítica PC	Supercrítica PC	Ultra supercrítica PC	Ultra supercrítica PC	CFBC	IGCC E-gas	IGCC Texaco	IGCC Texaco	IGCC E-gas	IGCC E-gas
Base														
Costo total de la planta (dólares/kW)	1192		1292	1269	1355	1108	1289	1432	1329	1233	1206	1435	1418	1249
Requerimiento total de capital (dólares/kW)	1356		1502	1422	1565	1241	1444	1604	1535	1389	1350	1607	1691	1470
Cargo por capital (dólares//kWh)	2.42		2.62	2.57	2.75	2.25	2.61	2.90	2.69	2.50	2.44	2.91	2.87	2.53
O & M (dólares//kWh)	0.86		0.79	1.11	0.79	0.81	1.05	0.82	1.04	0.84	0.74	0.82	0.93	0.65
Combustible (dólares//kWh)	1.37		1.39	1.26	1.30	1.30	1.20	1.19	0.98	1.19	1.36	1.19	1.29	1.14
Costo nivelado de la electricidad (dólares//kWh)	**4.64**		**4.80**	**4.95**	**4.84**	**4.36**	**4.86**	**4.91**	**4.72**	**4.53**	**4.55**	**4.92**	**5.10**	**4.32**
Captura	MEA	Oxy-fuel		MEA		MEA	MEA	MEA						
Costo total de la planta	2232	2136		2199		1780	2157	2491		1823	1608	1994		1729

Folio No. 00254

Estudio	NETL (2002)	NETL (2002)	NCC (2004)	EPRI (2002)	NCC	Rubin*	EPRI (2002)	SIMBECK	NCC	EPRI (2002)	Rubin*	SIMBECK	NCC	NETL (2002)
(dólares/kW)														
Requerimiento total de capital (dólares/kW)	2539	2417		2463		1994	2414	2790		2047	1800	2233		2030
Cargo por capital (dólares//kWh)	4.53	4.33		4.46		3.61	4.37	5.05		3.70	3.26	4.04		3.51
O & M (dólares//kWh)	1.79	1.32		1.90		1.65	1.79	1.42		1.07	1.01	1.14		0.85
Combustible (dólares//kWh)	1.92	1.75		1.77		1.71	1.65	1.51		1.38	1.58	1.36		1.33
Costo nivelado de la electricidad (dólares//kWh)	**8.24**	**7.39**		**8.13**		**6.97**	**7.81**	**7.99**		**6.14**	**5.85**	**6.54**		**5.68**

* Integrated Environmental Control Model 5.0. 2005, Carnegie Mellon University: Pittsburgh.

Fuente: (MIT, 2007)

Folio No. 00255

Tabla III.18 Resultados del estudio económico del Global CCS Institute.

Generación de electricidad						Aplicaciones industriales			
		PC Supercrítica y Ultra supercrítica*[1]	Oxy-combustión Estándar y MTI*[1]	IGCC	NGCC	Alto horno. Producción de acero	Producción de cemento	Procesamiento de gas natural	Producción de fertilizantes
Costo nivelado de producción	Dimensiones	Dólares/MWh	Dólares/MWh	Dólares/ MWh	Dólares/ MWh	Dólares/t acero	Dólares/t cemento	Dólares/GJ gas natural	Dólares/ t amoniaco
	Sin CCS*[2]	76 – 79	76 – 79	96	78	350 – 500	66 – 88	4 – 9	270 – 300
	Con CCS. FOAK*[3]	136 – 138	120 – 127	134	112	80	32	0.053	10
	Con CCS. NOAK*[4]	134 – 136	118 – 125	132	111	72	30	0.053	10
	Aumento entre tecnologías sin y con CCS	75% – 78%	55% – 64%	39%	43%	15% – 22%	36% – 48%	1%	3% – 4%
Costo de CO_2 evitado (dólares/tCO_2)	FOAK	87 – 91	62 – 70	81	112	52	50	18	18
	NOAK	84 – 88	60 – 68	78	109	47	47	18	18
Costo de CO_2 capturado (dólares/tCO_2)	FOAK	56 – 57	44 – 51	81	112	52	50	18	18
	NOAK	54 – 55	42 – 49	42	87	47	47	18	18

Fuente: (Worley Parsons, 2009)

*[1] Las tecnologías de Membranas de intercambio iónico y ultra supercríticas se encuentra en desarrollo.

*[2] Sin CCS, los costos de producción para la industria son los precios de mercado típicos.

*[3] Enésimo de su tipo

*[4] Único de su tipo

Folio No. 00256

Tabla III.19 Número de campos petroleros donde es posible llevar a cabo prácticas de recuperación mejorada.

REGIÓN	ACTIVO	PROCESOS DE RECUPERACIÓN MEJORADA								
		ASP	CO_2	Combustión *in situ*	Gas Hidro-carburo	N_2 Misc	Polímeros	Vapor	Microbiana	TOTAL
Marina Noreste	Cantarell	1	12	1	0	0	1	0	0	**15**
	Ku – Maloob – Zaap	0	8	7	0	0	0	0	0	**15**
Marina Suroeste	Abkatun–Pol–Chuc	0	41	13	18	12	0	0	0	**84**
	Litoral de Tabasco	3	32	5	9	9	0	1	0	**59**
Norte	ATG (Chicontepec)	0	10	0	0	0	0	0	3	**13**
	Poza Rica–Altamira	15	39	9	10	3	13	4	12	**105**
	Veracruz	0	5	0	0	0	0	0	0	**5**
Sur	Bellota – Jujo	7	57	20	22	22	4	1	3	**136**
	Cinco Presidentes	23	44	34	3	2	29	16	14	**165**
	Macuspana	3	5	5	0	0	3	1	1	**18**
	Muspac	6	46	3	19	18	4	0	0	**96**
	Samaria Luna	1	19	5	6	6	2	2	1	**42**
TOTAL		**59**	**318**	**102**	**87**	**72**	**56**	**25**	**34**	**753**

Fuente: (PEMEX, 2009)

Folio No. 00257

ANEXOS

ANEXO 1. NORMATIVIDAD INTERNACIONAL EN MATERIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

A continuación se presenta una tabla resumen compilada por la asociación CLASP en la que se muestra el avance de la normatividad por países desde sus inicios a finales de los sesenta. Como se aprecia en ella los primeros países en establecer normas fueron los países desarrollados como Francia, Estados Unidos, Alemania, Canadá y Japón, quienes iniciaron un agresivo proceso de normalización como respuesta a la crisis petrolera de los años 70's. Durante los 80's diversos países en el mundo comenzaron a normar los aparatos más relevante para el consumo residencial e industrial. México aparece en la tabla en el año 1995 en que se publicó la primera regulación para refrigeradores. En la tabla se listan los aparatos electrodomésticos, industriales y materiales de construcción, y los países que cuentan con normas para cada uno de ellos. La normalización es heterogénea a nivel internacional, mientras algunos países establecen estándares de cumplimiento obligatorio, otros deciden iniciar con normas voluntarias o sistemas de etiquetado. Conforme se fortalecen los marcos regulatorios se observa un incremento de los estándares y etiquetados de carácter obligatorio.

La Tabla utiliza la siguiente simbología para representar los diferentes esquemas de normativos:

Lv = etiquetas voluntarias; Lm = etiquetas obligatorias; Sv = estándares voluntarios; Sm = estándares obligatorios; Cv = Código de conducta voluntario F = Tipo de combustible: B = building shell, D = diesel, E = Eléctrico, G = gasolina, N = gas natural, W = agua, O = refinación de petróleo

Tabla III.20 Comparativo internacional de normas de eficiencia energética y etiquetados

	Año del primer etiquetado o estándar	1966	1976	1976	1978	1979	1981	1983	1983	1984	1985
Tipo de combustible	*Producto*	Francia	EUA	Alemania	Canadá	Japón	Taiwán	Unión Soviética	Rusia	Brasil	Israel
E	Refrigeradores	L_m,S_m	L_m,S_m,L_v	L_v	L_m,S_m, L_v	L_v,**S_v**	L_v,S_m	L_m,S_v	L_m,S_m	L_v,S_v	L_m,S_m
E	Congeladores	S_m	L_m,S_m,L_v		L_m,S_m	L_v,S_v	L_v	L_m,S_m	L_m,S_m	L_v,S_v	L_m,S_m
E	Lavadoras	L_m	L_m,S_m,L_v	L_v	L_m,S_m, L_v		L_v			L_v,S_v	L_m,S_m
E	Lavavajillas	L_m	L_m,S_m,L_v	L_v	L_m,S_v, L_v		L_v	S_m	S_m	L_v	L_m,S_m
E	Microondas			L_v			L_v			L_v	
E	Cocedor de arroz						S_m				

	Año del primer etiquetado o estándar	1966	1976	1976	1978	1979	1981	1983	1983	1984	1985
Tipo de combustible	*Producto*	Francia	EUA	Alemania	Canadá	Japón	Taiwán	Unión Soviética	Rusia	Brasil	Israel
E	Tetera eléctrica							S_v	S_v		
E	Aspiradoras							S_v	S_v		
E	Planchas							S_v	S_v		
E	Máquina para producción de hielo				S_m						
E	Ducha									L_v	
E	Campana para estufa						S_m			L_v	
E	Asiento de inodoros					L_v,S_v					
E	Purificadores de aire para habitaciones		L_v								
E	Sistema de aire a condicionado para habitaciones		L_m,S_m,L_v		L_m,S_m,L_v	$L_v,\mathbf{S_v}$	L_v,S_m	S_m	S_m	L_v,S_v	$\mathbf{L_m,S_m}$
E	Sistema de aire acondicionado central		L_m,S_m,L_v		L_v,S_m	L_v,S_v				L_v,S_v	
E	Enfriadores				S_m		S_m				
E	Deshumidificadores		L_v		L_v,S_m		L_v				
E	Ventiladores		L_v		L_v		L_v,S_m				L_v,S_m
E	Bombas de calor		L_m,S_m,L_v		L_v,S_m	S_v					
E	Termostatos programables		L_v		L_v						
E	Balastros		L_m,S_v		S_m	S_v				L_v,S_v	
E	Lámparas		L_m,S_m,L_v		L_v,S_m	L_v,S_v	L_v,S_m			L_v,S_v	$\mathbf{L_v,S_m}$
E	Señales de salida		L_v		L_v						
E	Accesorios de iluminación residencial		L_v								
E	Señales de tránsito		L_v		L_v						

	Año del primer etiquetado o estándar	1966	1976	1976	1978	1979	1981	1983	1983	1984	1985
Tipo de combustible	*Producto*	Francia	EUA	Alemania	Canadá	Japón	Taiwán	Unión Soviética	Rusia	Brasil	Israel
E	Wall packs										
E	Televisores	L_m	L_v		L_v	L_v,S_v	L_v	S_m	S_m	L_v	
E	Servicios de TV digital										
E	VCRs		L_v		L_v	S_v					
E	DVDs		L_v		L_v	S_v					
E	Unidades que combinan TV\VCR y TV\DVD		L_v		L_v						
E	Decodificadores		L_v		L_v						
E	Receptor y grabadora de radio		L_v		L_v						
E	Audio personal portátil										
E	Receptor de satélite analógico										
E	Sistemas de audio en el hogar**		L_v								
E	Máquinas contestadoras		L_v		L_v						
E	Teléfonos inalámbricos y móviles		L_v		L_v						
E	Cargadores de baterías										
E	Computadoras		L_v		L_v	L_v,S_v	L_v	S_m	S_m		
E	Monitores		L_v		L_v	L_v	L_v	S_m	S_m	L_v	
E	Máquinas copiadoras		L_v		L_v	L_v,S_v	L_v				
E	Impresoras		L_v		L_v	L_v	L_v	S_m	S_m		
E	Máquinas Fax		L_v		L_v		L_v				
E	Scanners		L_v		L_v	L_v	L_v				
E	Dispositivos multifuncionales		L_v		L_v	L_v	L_v				
E	Máquinas para preparación de correo		L_v		L_v						

Folio No. 00260

	Año del primer etiquetado o estándar	1966	1976	1976	1978	1979	1981	1983	1983	1984	1985
Tipo de combustible	*Producto*	Francia	EUA	Alemania	Canadá	Japón	Taiwán	Unión Soviética	Rusia	Brasil	Israel
E	Unidades de disco duro					S_v					
E	Enfriadores de agua potable (Caliente y Fría)		L_v		L_v					L_v	
E	Suministros externos de electricidad		L_v								
E	Bombas									L_v,S_v	
E	Transformadores		L_v		L_v,S_m	L_v,S_v	L_v			L_v,S_v	
E	Sistemas HVAC comerciales		L_v								
E	Gabinetes de conservación caliente comerciales		L_v								
E	Refrigeradores comerciales		L_v								
E	Maquinas expendedoras		L_v			S_v					
B	Tragaluces		Lv								
B	Aislamiento en edificaciones		Lv								
B	Puertas		Lv		Lv						
B	Productos que reflejan la luz en techos		Lv								
B	Ventanas		Lv		Lv						
EN	Secadoras		Lv,Sm	Lv	Lm,Sm		Lv			Lv	
EN	Secadoras de platos				Lm,Sm						
EN	Estufas/hornos	Lm	Lv	Lv	Lm,Sm	Lv,Sv	Lv,Sm	Sm	Sm	Lv,Sv	Lm,Sm
EN	Calentador de agua	Lm	Lm,Sm		Sm	Lv,Sv	Lv,Sm	Sm	Sm	Lv, Sv	Lm,Sm
EN	Caldera	Lm	Lm,Sm,Lv		Sm		Sm			Lv,Sv	
EN	Calentadores de albercas		Sm								
EN	Calefactores	Lm	Lm			Lv,Sv				Lv	Lm,Sm

Folio No. 00261

	Año del primer etiquetado o estándar	1966	1976	1976	1978	1979	1981	1983	1983	1984	1985
Tipo de combustible	***Producto***	Francia	EUA	Alemania	Canadá	Japón	Taiwán	Unión Soviética	Rusia	Brasil	Israel
EN	Freidoras comerciales		Lv								
EN	Ollas de vapor comerciales		Lv								
G	Motores		Sm		Sm		Sm			Lv,Sm	
G	Automóviles		Lm		Lv	Sv				Lv,Sv	
N	Hornos		Lm,Sm,Lv		Lv,Sm					Lv, Sv	
O	Caldera		Lm,Sm,Lv		Lv,Sm		Sm				
O	Hornos		Lm,Sm,Lv								
W	Ducha		Lm,Sm							Lv,Sv	
W	Grifo		Lm,Sm							Lv,Sv	
W	Inodoros		Sm								
W	Urinarios		Sm								

	Año del primer etiquetado o estándar	1986	1986	1987	1989	1989	1989	1992	1992	1992	1993
Tipo de combustible	***Producto***	Australia	Nueva Zelanda	India	China	Malasia	Noruega	Unión Europea	Corea	Jamaica	República Checa
E	Refrigeradores	L_m,S_m,L_v	L_m,S_m	L_v,S_v,L_m	L_m[4],S_m, L_v	L_v	L_v,S_m,L_m	L_m,S_m,S_v,L_v	L_m,S_m	L_m,S_m	L_m,S_m,L_v
E	Congeladores	L_m,S_m,L_v	L_m,S_m		L_v	L_v	L_v,S_m,L_m	L_m,S_m,S_v,L_v	S_m	L_m,S_m	L_m,S_m,L_v
E	Lavadoras	L_m,L_v	L_m		L_v,S_m		L_v,S_v,L_m	L_m,S_v,L_v	L_m,S_m		L_m,S_v,L_v
E	Lavavajillas	L_m,L_v	L_m				L_v,S_v,L_m	L_m,S_v,L_v	L_m,S_m		L_m,S_v,L_v
E	Microondas				L_v				L_v		
E	Cocedor de arroz				L_v,S_m				L_m,S_m		

	Año del primer etiquetado o estándar	1986	1986	1987	1989	1989	1989	1992	1992	1992	1993
Tipo de combustible	*Producto*	Australia	Nueva Zelanda	India	China	Malasia	Noruega	Unión Europea	Corea	Jamaica	República Checa
E	Tetera eléctrica										
E	Aspiradoras						L_v	L_v	L_m, S_m		L_v
E	Planchas				S_m						
E	Máquina para producción de hielo										
E	Ducha										
E	Campana para estufa										
E	Asiento de inodoros										
E	Purificadores de aire para habitaciones										
E	Sistema de aire a condicionado para habitaciones	L_m,S_m,L_v	L_m,S_m	S_v	L_m[5],S_m, L_v		L_m	L_m	L_m,S_m	S_m	L_m
E	Sistema de aire acondicionado central	L_v,S_m	L_v,S_m		S_m						
E	Enfriadores	S_v	S_v		S_m[6]						
E	Deshumidificadores										
E	Ventiladores				S_m						
E	Bombas de calor	L_m	L_m					L_m			L_m
E	Termostatos programables										
E	Balastros	L_m,S_m	L_m,S_m		L_v,S_m	S_m	S_m	S_m	L_m,S_m		S_m
E	Lámparas	L_v,S_m[1]	L_v,S_m	L_v	L_v,S_m		L_m,L_v	L_m,L_v	L_m,S_m		L_m,L_v
E	Señales de salida										
E	Accesorios de iluminación residencial										
E	Señales de tránsito										

Folio No. 00263

	Año del primer etiquetado o estándar	1986	1986	1987	1989	1989	1989	1992	1992	1992	1993
Tipo de combustible	*Producto*	Australia	Nueva Zelanda	India	China	Malasia	Noruega	Unión Europea	Corea	Jamaica	República Checa
E	Wall packs										
E	Televisores	L_v	L_v	L_v	L_v,**S_m**		**L_v**,S_v	**L_v**,S_v	L_v		L_v,S_v
E	Servicios de TV digital	L_v						C_v			
E	VCRs	L_v	L_v		L_v		**L_v**,S_v	S_v,L_v	L_v		S_v,L_v
E	DVDs	L_v			L_v						
E	Unidades que combinan TV\VCR y TV\DVD										
E	Decodificadores	L_v			L_v		S_v	S_v			S_v
E	Receptor y grabadora de radio	L_v			**S_m**		S_v	S_v			S_v
E	Audio personal portátil										
E	Receptor de satélite analógico										
E	Sistemas de audio en el hogar**						S_v	S_v			S_v
E	Máquinas contestadoras										
E	Teléfonos inalámbricos y móviles										
E	Cargadores de baterías										
E	Computadoras	L_v	L_v		L_v		**L_v**	**L_v**	L_v		L_v
E	Monitores	L_v	L_v		L_v		**L_v**	**L_v**, S_v	L_v		L_v, S_v
E	Máquinas copiadoras	L_v	L_v		L_v		**L_v**	L_v	L_v		L_v
E	Impresoras	L_v	L_v		L_v			L_v	L_v		L_v
E	Máquinas Fax	L_v	L_v		L_v		**L_v**	L_v	L_v		L_v
E	Scanners	L_v	L_v						L_v		
E	Dispositivos multifuncionales	L_v						L_v			L_v
E	Máquinas para preparación de correo										

Folio No. 00264

	Año del primer etiquetado o estándar	1986	1986	1987	1989	1989	1989	1992	1992	1992	1993
Tipo de combustible	*Producto*	Australia	Nueva Zelanda	India	China	Malasia	Noruega	Unión Europea	Corea	Jamaica	República Checa
E	Unidades de disco duro										
E	Enfriadores de agua potable (Caliente y Fría)								L_m,S_m		
E	Suministros externos de electricidad							C_v			
E	Bombas						L_v				
E	Transformadores	S_m[2]	S_m				S_v	S_v			S_v
E	Sistemas HVAC comerciales										
E	Gabinetes de conservación caliente comerciales										
E	Refrigeradores comerciales	L_v,S_m[3]	L_v,S_m								
E	Maquinas expendedoras										`
B	Tragaluces										
B	Aislamiento en edificaciones										
B	Puertas										
B	Productos que reflejan la luz en techos										
B	Ventanas	Lv	Lv								
EN	Secadoras	Lm,Lv	Lm				Lm	Lm			Lm
EN	Secadoras de platos						Lm	Lm			Lm
EN	Estufas/hornos			Lv			Lm	Lm			Lm
EN	Calentador de agua	Lv,Sm	Lv,Sm	Lv	Lv		Sv	Sv			Sv
EN	Caldera						Sm	Sm	Lm,Sm		Lv,Sm
EN	Calentadores de albercas										
EN	Calefactores	Lv,Sm									

	Año del primer etiquetado o estándar	1986	1986	1987	1989	1989	1989	1992	1992	1992	1993
Tipo de combustible	***Producto***	**Australia**	**Nueva Zelanda**	**India**	**China**	**Malasia**	**Noruega**	**Unión Europea**	**Corea**	**Jamaica**	**República Checa**
EN	Freidoras comerciales										
EN	Ollas de vapor comerciales										
G	Motores	Sm	Sm	Lv	Lv,Sm	Sv		Lv,Sv			Lv,Sv
G	Automóviles	Lm						Lm,Sv	Lm,Sm		
N	Hornos								Lm,Sm		
O	Caldera										
O	Hornos										
W	Ducha	Lv			Lv						
W	Grifo	Lv			Lv						
W	Inodoros	Lv			Lv						
W	Urinarios	Lv									

	Año del primer etiquetado o estándar	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1995	1996	1996	1996
Tipo de combustible	***Producto***	**Singapur**	**Filipinas**	**Tailandia**	**Suiza**	**Hong Kong**	**México**	**Polonia**	**Países GEA**	**Costa Rica**	**Rumania**
E	Refrigeradores	L_v	L_m	**L_m**	L_m,S_v	L_v	L_m,S_m,L_v	L_m,S_m		**L_m,S_m**	L_m,S_m
E	Congeladores	L_v	L_m		L_m,S_v		L_m,S_m,L_v			**L_m,S_m**	L_m
E	Lavadoras	L_v		L_v	L_m,S_v	L_v	L_m,S_m,L_v	L_m			L_m

	Año del primer etiquetado o estándar	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1995	1996	1996	1996
Tipo de combustible	***Producto***	**Singapur**	**Filipinas**	**Tailandia**	**Suiza**	**Hong Kong**	**México**	**Polonia**	**Países GEA**	**Costa Rica**	**Rumania**
E	Lavavajillas				L_m,S_v			L_m			L_m
E	Microondas										
E	Cocedor de arroz			L_v		L_v					
E	Tetera eléctrica										
E	Aspiradoras										
E	Planchas										
E	Máquina para producción de hielo										
E	Ducha										
E	Campana para estufa							S_m			
E	Asiento de inodoros										
E	Purificadores de aire para habitaciones										
E	Sistema de aire a condicionado para habitaciones	L_v,S_m	**L_m,S_m**	L_v,S_v[7]		L_v	L_m,S_m,L_v			**L_m,S_m**	
E	Sistema de aire acondicionado central	L_v					L_m,S_m				

Folio No. 00267

	Año del primer etiquetado o estándar	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1995	1996	1996	1996
Tipo de combustible	***Producto***	**Singapur**	**Filipinas**	**Tailandia**	**Suiza**	**Hong Kong**	**México**	**Polonia**	**Países GEA**	**Costa Rica**	**Rumania**
E	Enfriadores										
E	Deshumidificadores					L_v					
E	Ventiladores										
E	Bombas de calor										
E	Termostatos programables										
E	Balastros	L_v	L_m,S_m	L_v			L_m,S_v			**L_m,S_m**	
E	Lámparas	**L_v**	L_m,S_m L_v	L_v	L_m	L_v	L_m,S_m,L_v	**L_v**		**L_m,S_m**	L_m
E	Señales de salida										
E	Accesorios de iluminación residencial										
E	Señales de tránsito										
E	Wall packs								L_v		
E	Televisores				**S_v**	L_v	L_v		L_v		
E	Servicios de TV digital										
E	VCRs				**S_v**				L_v		
E	DVDs										
E	Unidades que combinan TV\VCR y TV\DVD										

Folio No. 00268

	Año del primer etiquetado o estándar	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1995	1996	1996	1996
Tipo de combustible	*Producto*	Singapur	Filipinas	Tailandia	Suiza	Hong Kong	México	Polonia	Países GEA	Costa Rica	Rumania
E	Decodificadores								L_v		
E	Receptor y grabadora de radio										
E	Audio personal portátil								L_v		
E	Receptor de satélite analógico								L_v		
E	Sistemas de audio en el hogar**								L_v		
E	Máquinas contestadoras										
E	Teléfonos inalámbricos y móviles								L_v		
E	Cargadores de baterías								L_v		
E	Computadoras	L_v		L_v	L_v,S_v				L_v		
E	Monitores	L_v		L_v	L_v,S_v	L_v			L_v		
E	Máquinas copiadoras			L_v	L_v,S_v	L_v			L_v		
E	Impresoras				L_v,S_v	L_v			L_v		
E	Máquinas Fax				L_v,S_v				L_v		
E	Scanners								L_v		

Folio No. 00269

	Año del primer etiquetado o estándar	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1995	1996	1996	1996
Tipo de combustible	***Producto***	**Singapur**	**Filipinas**	**Tailandia**	**Suiza**	**Hong Kong**	**México**	**Polonia**	**Países GEA**	**Costa Rica**	**Rumania**
E	Dispositivos multifuncionales					L_v			L_v		
E	Máquinas para preparación de correo								L_v		
E	Unidades de disco duro										
E	Enfriadores de agua potable (Caliente y Fría)										
E	Suministros externos de electricidad										
E	Bombas						L_m,S_m				
E	Transformadores						S_m				
E	Sistemas HVAC comerciales										
E	Gabinetes de conservación caliente comerciales										
E	Refrigeradores comerciales						L_m,S_m				
E	Maquinas expendedoras										

Folio No. 00270

	Año del primer etiquetado o estándar	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1995	1996	1996	1996
Tipo de combustible	*Producto*	Singapur	Filipinas	Tailandia	Suiza	Hong Kong	México	Polonia	Países GEA	Costa Rica	Rumania
B	Tragaluces										
B	Aislamiento en edificaciones										
B	Puertas										
B	Productos que reflejan la luz en techos										
B	Ventanas										
EN	Secadoras	Lv			Lm,Sv	Lv		Lm			Lm
EN	Secadora de platos				Lm						
EN	Estufas/hornos				Sv					Lm,Sm	Lm
EN	Calentador de agua	Lv			Sv	Lv	Lm,Sm			Lm,Sm	
EN	Caldera						Sm				
EN	Calentadores de albercas										
EN	Calefactores							Sm			
EN	Freidoras comerciales										
EN	Ollas de vapor comerciales										

	Año del primer etiquetado o estándar	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1995	1996	1996	1996
Tipo de combustible	***Producto***	**Singapur**	**Filipinas**	**Tailandia**	**Suiza**	**Hong Kong**	**México**	**Polonia**	**Países GEA**	**Costa Rica**	**Rumania**
G	Motores	Lv		Lv			Lv,Sm	Sm		Lm,Sm	
G	Automóviles										
N	Hornos				Sv						
O	Caldera										
O	Hornos										
W	Ducha										
W	Grifo										
W	Inodoros										
W	Urinarios										

	Año del primer etiquetado o estándar	1998	1998	1998	1998	1999	2000	2001	2001	2001	2001
Tipo de combustible	***Producto***	**Colombia**	**Hungría**	**Irán**	**Venezuela**	**Indonesia**	**Sudáfrica**	**Argentina**	**Perú**	**Arabia Saudita**	**Eslovenia**
E	Refrigeradores	L_m,S_m	L_m,S_m	L_m,S_m	L_m,S_m	L_v	L_v	L_m			L_m

Folio No. 00272

	Año del primer etiquetado o estándar	1998	1998	1998	1998	1999	2000	2001	2001	2001	2001
Tipo de combustible	***Producto***	**Colombia**	**Hungría**	**Irán**	**Venezuela**	**Indonesia**	**Sudáfrica**	**Argentina**	**Perú**	**Arabia Saudita**	**Eslovenia**
E	Congeladores	L_m,S_m	L_m,S_m	L_m,S_m	L_m,S_m			L_m			
E	Lavadoras		L_m	L_m,S_m			L_v				L_m
E	Lavavajillas		L_m								
E	Microondas										
E	Cocedor de arroz										
E	Tetera eléctrica										
E	Aspiradoras										
E	Planchas			L_m,S_m							
E	Máquina para producción de hielo										
E	Ducha										
E	Campana para estufa										
E	Asiento de inodoros										
E	Purificadores de aire para habitaciones										
E	Sistema de aire a condicionado para habitaciones	L_m,S_m		L_m,S_m	L_v,S_v					S_m	

Folio No. 00273

	Año del primer etiquetado o estándar	1998	1998	1998	1998	1999	2000	2001	2001	2001	2001
Tipo de combustible	***Producto***	**Colombia**	**Hungría**	**Irán**	**Venezuela**	**Indonesia**	**Sudáfrica**	**Argentina**	**Perú**	**Arabia Saudita**	**Eslovenia**
E	Sistema de aire acondicionado central										
E	Enfriadores										
E	Deshumidificadores										
E	Ventiladores										
E	Bombas de calor										
E	Termostatos programables										
E	Balastros	L_m,**S_m**									
E	Lámparas	L_m,**S_m**	L_m,L_v				**L_v**	L_v	**L_v**		L_m
E	Señales de salida										
E	Accesorios de iluminación residencial										
E	Señales de tránsito										
E	Wall packs										
E	Televisores										
E	Servicios de TV digital										
E	VCRs										
E	DVDs										

Folio No. 00274

	Año del primer etiquetado o estándar	1998	1998	1998	1998	1999	2000	2001	2001	2001	2001
Tipo de combustible	***Producto***	**Colombia**	**Hungría**	**Irán**	**Venezuela**	**Indonesia**	**Sudáfrica**	**Argentina**	**Perú**	**Arabia Saudita**	**Eslovenia**
E	Unidades que combinan TV\VCR y TV / DVD										
E	Decodificadores										
E	Receptor y grabadora de radio										
E	Audio personal portátil										
E	Receptor de satélite analógico										
E	Sistemas de audio en el hogar**										
E	Máquinas contestadoras										
E	Teléfonos inalámbricos y móviles										
E	Cargadores de baterías										
E	Computadoras										
E	Monitores										
E	Máquinas copiadoras										

Folio No. 00275

	Año del primer etiquetado o estándar	1998	1998	1998	1998	1999	2000	2001	2001	2001	2001
Tipo de combustible	***Producto***	**Colombia**	**Hungría**	**Irán**	**Venezuela**	**Indonesia**	**Sudáfrica**	**Argentina**	**Perú**	**Arabia Saudita**	**Eslovenia**
E	Impresoras										
E	Máquinas Fax										
E	Scanners										
E	Dispositivos multifuncionales										
E	Máquinas para preparación de correo										
E	Unidades de disco duro										
E	Enfriadores de agua potable (Caliente y Fría)										
E	Suministros externos de electricidad										
E	Bombas			L_m,S_m							
E	Transformadores										
E	Sistemas HVAC comerciales										
E	Gabinetes de conservación caliente comerciales										

	Año del primer etiquetado o estándar	1998	1998	1998	1998	1999	2000	2001	2001	2001	2001
Tipo de combustible	***Producto***	**Colombia**	**Hungría**	**Irán**	**Venezuela**	**Indonesia**	**Sudáfrica**	**Argentina**	**Perú**	**Arabia Saudita**	**Eslovenia**
E	Refrigeradores comerciales										
E	Maquinas expendedoras										
B	Tragaluces										
B	Aislamiento en edificaciones										
B	Puertas										
B	Productos que reflejan la luz en techos										
B	Ventanas										
EN	Secadoras		Lm								
EN	Secadoras de platos										
EN	Estufas/hornos										
EN	Calentador de agua	Lm,Sm		Lm,Sm							
EN	Caldera										
EN	Calentadores de albercas										
EN	Calefactores										

Folio No. 00277

	Año del primer etiquetado o estándar	1998	1998	1998	1998	1999	2000	2001	2001	2001	2001
Tipo de combustible	***Producto***	**Colombia**	**Hungría**	**Irán**	**Venezuela**	**Indonesia**	**Sudáfrica**	**Argentina**	**Perú**	**Arabia Saudita**	**Eslovenia**
EN	Freidoras comerciales										
EN	Ollas de vapor comerciales										
G	Motores	Lm,Sm		Lm,Sm							
G	Automóviles										
N	Hornos										
O	Caldera										
O	Hornos										
W	Ducha										
W	Grifo										
W	Inodoros										
W	Urinarios										

	Año del primer etiquetado o estándar	2002	2002	2003	2003	2003	2004	2004

Folio No. 00278

Tipo de combustible	*Producto*	Ghana	Turquía	Bulgaria	Egipto	Sri Lanka	Túnez	Acceso a EU*****
E	Refrigeradores		L_m	L_m	L_m,S_m		L_m,S_m	L_m,S_m,S_v,**L_v**
E	Congeladores		L_m	L_m	L_m,S_m			L_m,S_m,S_v,**L_v**
E	Lavadoras		L_m	L_m	L_m,S_m			L_m,S_v,**L_v**
E	Lavavajillas		L_m	L_m				L_m,S_v,**L_v**
E	Microondas							
E	Cocedor de arroz							
E	Tetera eléctrica							
E	Aspiradoras							**L_v**
E	Planchas							
E	Máquina para producción de hielo							
E	Ducha							
E	Campana para estufa							
E	Asiento de inodoros							
E	Purificadores de aire para habitaciones							
E	Sistema de aire a condicionado para habitaciones	**S_m**		L_m	L_m,S_m			L_m

Folio No. 00279

	Año del primer etiquetado o estándar	2002	2002	2003	2003	2003	2004	2004
Tipo de combustible	***Producto***	**Ghana**	**Turquía**	**Bulgaria**	**Egipto**	**Sri Lanka**	**Túnez**	**Acceso a EU*******
E	Sistema de aire acondicionado central							
E	Enfriadores							
E	Deshumidificadores							
E	Ventiladores							
E	Bombas de calor							L_m
E	Termostatos programables							
E	Balastros					**L_v**		S_m
E	Lámparas		L_m	L_m		**L_v**		L_m,**L_v**
E	Señales de salida							
E	Accesorios de iluminación residencial							
E	Señales de tránsito							
E	Wall packs							
E	Televisores							**L_v**,S_v
E	Servicios de TV digital							C_v
E	VCRs							S_v,L_v

Folio No. 00280

	Año del primer etiquetado o estándar	2002	2002	2003	2003	2003	2004	2004
Tipo de combustible	***Producto***	**Ghana**	**Turquía**	**Bulgaria**	**Egipto**	**Sri Lanka**	**Túnez**	**Acceso a EU*******
E	DVDs							
E	Unidades que combinan TV\VCR y TV\DVD							
E	Decodificadores							S_v
E	Receptor y grabadora de radio							S_v
E	Audio personal portátil							
E	Receptor de satélite analógico							
E	Sistemas de audio en el hogar**							S_v
E	Máquinas contestadoras							
E	Teléfonos inalámbricos y móviles							
E	Cargadores de baterías							
E	Computadoras							L_v
E	Monitores							L_v, S_v

Folio No. 00281

	Año del primer etiquetado o estándar	2002	2002	2003	2003	2003	2004	2004
Tipo de combustible	***Producto***	**Ghana**	**Turquía**	**Bulgaria**	**Egipto**	**Sri Lanka**	**Túnez**	**Acceso a EU*******
E	Máquinas copiadoras							L_v
E	Impresoras							L_v
E	Máquinas Fax							L_v
E	Scanners							
E	Dispositivos multifuncionales							L_v
E	Máquinas para preparación de correo							
E	Unidades de disco duro							
E	Enfriadores de agua potable (Caliente y Fría)							
E	Suministros externos de electricidad							C_v
E	Bombas							
E	Transformadores							S_v
E	Sistemas HVAC comerciales							

Folio No. 00282

	Año del primer etiquetado o estándar	2002	2002	2003	2003	2003	2004	2004
Tipo de combustible	***Producto***	**Ghana**	**Turquía**	**Bulgaria**	**Egipto**	**Sri Lanka**	**Túnez**	**Acceso a EU*******
E	Gabinetes de conservación caliente comerciales							
E	Refrigeradores comerciales							
E	Maquinas expendedoras							
B	Tragaluces							
B	Aislamiento en edificaciones							
B	Puertas							
B	Productos que reflejan la luz en techos							
B	Ventanas							
EN	Secadoras		Lm	Lm				Lm
EN	Secadoras de platos			Lm				Lm
EN	Estufas/hornos			Lm				Lm
EN	Calentador de agua							Sv
EN	Caldera							Sm

	Año del primer etiquetado o estándar	2002	2002	2003	2003	2003	2004	2004
Tipo de combustible	***Producto***	**Ghana**	**Turquía**	**Bulgaria**	**Egipto**	**Sri Lanka**	**Túnez**	**Acceso a EU*******
EN	Calentadores de albercas							
EN	Calefactores							
EN	Freidoras comerciales							
EN	Ollas de vapor comerciales							
G	Motores							Lv,Sv
G	Automóviles							Lm,Sv
N	Hornos							
O	Caldera							
O	Hornos							
W	Ducha							
W	Grifo							
W	Inodoros							

Símbolos: Lv = etiquetas voluntarias; Lm = etiquetas obligatorias; Sv = estándares voluntarios; Sm = estándares obligatorios; Cv = Código de conducta voluntarioF = Tipo de combustible: B = building shell, D = diesel, E = Eléctrico, G = gasolina, N = gas natural, W = agua, O = refinación de petróleo

Fuente: (CLASP, 2010)

Folio No. 00284

ANEXO 2. PROYECTOS DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN DESARROLLO

De acuerdo al Foro de Liderazgo en Almacenamiento de Carbono (CSLF) existen 117 proyectos de captura y almacenamiento geológico de carbono. La Tabla III.21 lista dichos proyectos.

Tabla III.21 Proyectos CCS registrados en la base de datos del CSLF.

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
Algeria	In Salah	Grande	BP (32%), Sontrach (35%), and Statoil (32%)	2004	Procesamiento de gas natural	Campo de gas empobrecido
Australia	Bluewaters Power Station	Grande	Griffin Energy	2013	Oxy-fuel	
	Callide - A Oxyfuel	Demostrativo Pequeño	CSE, IHI, JCOAL, Jpower, Xstrata Coal, Schlumberger Oilfields Australia	2010	Oxy-fuel / Retroadaptación de una planta eléctrica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
	Coolimba	Grande	Aviva Corporation JV con AES	2012	Unidades subcríticas	
	FuturGas	Grande	Hybrid Energy Australia		Carbón a combustibles líquidos	
	GE Energy IGCC			2015	IGCC	
	Gorgon	Grande	Chevron Texaco	2009	Procesamiento de gas natural	Yacimiento salino profundo
	Hazelwood	Piloto Pequeño	International Power	2009	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Mineralización
	Monash	Grande	Monash Energy	2016	Carbón a combustibles líquidos	Almacenamiento geológico mar adentro
	Munmorah	Demostrativo Pequeño	Delta Electricity	2011	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Perforación geológica para la identificación de estructuras adyacentes a la

Folio No. 00285

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
						planta
	Otway		CO2CRC	2008	Depósito natural	Campo de gas empobrecido
	Perdaman	Grande	Perdaman Chemicals & Fertilisers	2013	IGCC	
	ZeroGen	Grande	ZeroGen Pty Ltd, Mitsubishi Heavy Industries y Mitsubishi Corp	2012	IGCC	Acuífero salino profundo
Bulgaria	Maritsa	Grande	TET			
Canadá	Boundary Dam	Grande	SaskPower	2015	Planta eléctrica de carbón pulverizado	EOR
	Bow City	Grande	BCPL	2014	Planta eléctrica de carbón pulverizado	EOR
	Dodds - Roundhill	Grande	Sherritt International	2011	IGCC	Almacenamiento / EOR
	Fort Nelson	Grande	PCOR, Spectra Energy	2001	Procesamiento de gas natural	Acuífero salino profundo
	Genesee	Grande	EPCOR		IGCC	Almacenamiento / EOR
	Polygen	Grande	SaskPower	No decidido	IGCC	Almacenamiento / EOR
	Pioneer	Grande	Alstom, Transalta, TransCanada	2012	Retroadaptación de planta eléctrica de carbón pulverizado	
	Heartland Area Redwater CCS Project (HARP)	Grande	Alberta Research Council, ARC Energy Trust	por 2015	Refinerías, Arena petrolífera	
	Quest	Grande	Shell	2011	Producción de hidrógeno	
	Zama	Piloto	Apache	2006	Procesamiento	EOR

Folio No. 00286

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
		Pequeño			de gas natural	
China	GreenGen	Grande	GreenGen	2009	IGCC	
República Checa	Hodonin	Demostrativo Pequeño	CEZ	2015	Retroadaptación de planta eléctrica de carbón pulverizado	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	Ledvice	Grande	CEZ	2015	Retroadaptación de planta eléctrica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
Dinamarca	Kalundborg Dong	Grande	Dong Energy	2015	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
	Nordjyllandsvaerket	Grande	Vattenfall	2013	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
Finlandia	Meri Pori Fortum	Grande	Fortum, VTO	2015	Retroadaptación de planta eléctrica de carbón pulverizado	
Francia	Florange	Grande	ArcelorMittal		Instalación de producción de acero	Acuífero salino profundo
	Lacq	Demostrativo Pequeño	Total, Air Liquide, IFP, BRGM, Alstom	2009	Oxy-fuel	Campos de gas empobrecido
Alemania	Eisenhüttenstadt	Grande	ArcelorMittal		Instalación de producción de acero	
	Greifswald	Grande	Dong Energy		Planta eléctrica de carbón pulverizado	
	Jänschwalde	Grande	Vattenfall	2015	Planta eléctrica de carbón pulverizado	EGR y / o Acuífero salino profundo
	Ketzin		CO2Sink	2008	Producción de	Yacimiento de

Folio No. 00287

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
					hidrógeno	arenisca
	RWE Goldenbergwerk	Grande	RWE	2015	IGCC	Yacimiento salino profundo
	Schwarze Pumpe	Piloto Pequeño	Vattenfall	2008	Planta eléctrica de carbón pulverizado	EGR
	Wilhelmshaven E.ON	Demostrativo Pequeño	E.ON Energie, Fluor	2015	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
	Zero - CO2 (Huerth)	Grande	RWE	2020	IGCC	Yacimiento salino profundo
Italia	Brindisi (ENEL CCS1) at Federico II	Piloto Pequeño	ENEL	2014	Planta eléctrica de carbón pulverizado	
	ENEL CCS2 (oxy-fuel)	Demostrativo Pequeño	ENEL	2016	Planta eléctrica de carbón pulverizado	
	Saline Joniche SEI	Grande	SEI (Rätia Energie & Partners)		Planta eléctrica de carbón pulverizado	
Holanda	Barendrecht	Demostrativo Pequeño	Shell		Refinación de productos químicos	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	DMS/GTI	Piloto Pequeño	GTI, DSM Agro, Flemish Institute for Technical research		Amoniaco	Formación de arenisca
	Eemshaven RWE	Demostrativo Pequeño	RWE, Gasunie	2015	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	K12B	Piloto Pequeño	Gaz De France, Netherlands Ministry of Economic Affairs	2004	Procesamiento de gas natural	Campos de gas empobrecido
	Limburg					Capas de arenisca y carbón
	NUON Magnum	Grande	NUON	2013	IGCC	Campos de

Folio No. 00288

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
						petróleo y gas empobrecidos
	Rotterdam CGEN	Grande	CGEN NV	2014	IGCC con producción de hidrógeno	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	Rotterdam Climate Initiative	Demostrativo Pequeño	NAM (Shell y Exxon Mobil)		Refinerías, Plantas eléctricas	Mar adentro y sobre tierra
	Rotterdam Essent	Grande	Essent, Shell	2016	IGCC	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	SEQ-1 Zero Emission Power Plant (ZEPP)	Demostrativo Pequeño	Eneco, Wintershall, Siemens, Visser Smit, Corus, Clean Energy Systems	2010	Alto horno	EGR
Noruega	Haugesund Haugalandkraft	Grande	Haugaland Kraft	2014		
	Hammerfest			2013		
	Naturkraft Karsto	Grande	Aker, Fluor, Mitsubishi	2012	Ciclo combinado de gas natural	Yacimiento salino profundo
	Sargas Husnes	Grande	Tinfos AS, Sor-Norge Aluminium AS, Eramet Norway AS, Sargas AS		Planta eléctrica de carbón pulverizado	Campos petrolíferos/EOR
	Sleipner	Grande	StatoilHydro	1996	Procesamiento de gas natural	Yacimiento salino profundo
	Snovit	Grande	StatoilHydro	2008	Procesamiento de gas natural	Yacimiento salino profundo
	Statoil Mongstad	Grande	StatoilHydro, Gassnova	2014	Combinación de calor y potencia	Yacimiento salino profundo
	ZENG Rivasika	Demostrativo Pequeño	CO2 - Norway		Oxy-fuel	
Polonia	Belchatow	Grande	Alstom	2015	Planta eléctrica de carbón	

Folio No. 00289

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
					pulverizado	
	Kedzierzyn - Kozle	Grande	ZAK, PKE	2014	Instalación de poligeneración	
	Siekierki	Grande	Vattenfall	2015+	Planta eléctrica de carbón pulverizado	
España	Ciuden	Grande	Union Fenosa		Oxifuel/Planta eléctrica de carbón pulverizado	
	La Robla	Demostrativo Pequeño	Gobierno de España		Planta eléctrica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
	OXYCFB500MWe	Grande	Endesa Generación	2015	Lecho Fluidizado Circulante / Combustión oxígeno - gas	Acuífero salino profundo
	Puertollano	Grande	MICINN, CIEMAT	2009	IGCC	
Turquía	Somalox	Demostrativo Pequeño	Empresas de Carbón de Turqía		Oxy-fuel / Retroadaptación de planta eléctrica de carbón pulverizado	EOR o ECBM
Emiratos Árabes Unidos	Masdar	Grande	Abu Dhabi Future Energy Company (Masdar), Hydrogen Energy (BP Alternative Energy and Rio Tinto joint venture)	2012	Planta eléctrica	EOR
Reino Unido	Aberthaw	Demostrativo Pequeño	RWE		Planta eléctrica de carbón pulverizado	
	Blyth	Grande	RWE	2014	Planta eléctrica supercrítica de carbón	Offshore

Folio No. 00290

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
					pulverizado	
	Ferrybridge	Grande	Scottish and Southern Energy	2015+	Planta eléctrica supercrítica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
	Killingholme	Grande	E.ON	2012-2014	IGCC	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	Kingsnorth	Grande	E.ON	2014	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Campo de gas empobrecido
	Immingham		ConocoPhillips	2010		
	Longannet	Grande	Scottish Power	2014	Planta eléctrica de carbón pulverizado	ECBM
	Onllwyn (Drym)	Grande	Progressive Energy		IGCC	
	Powerfuel Hatfield	Grande	Powerfuel		IGCC	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	Renfrew	Demostrativo			Oxy-fuel	
	RWE npower Tilbury	Grande	RWE nPower	2013	Planta eléctrica supercrítica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
	Scunthorpe	Grande	CORUS		Instalaciones de porducción de acero	Campos de petróleo y gas empobrecidos
	Teesside	Grande	Coastal Energy	2012	IGCC	Campos de petróleo y gas empobrecidos
Estados Unidos	AEP Alstom Mountaineer	Piloto Pequeño	AEP, Alstom	2009	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Yacimiento salino profundo
	AEP Alstom Northeastern	Grande	AEP, Alstom	2012	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Campos petrolíferos/EOR

Folio No. 00291

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
	Antelope Valley/Williston	Grande	Basin Electric, Powerspan, PCOR Partnership	2010	Planta eléctrica de carbón pulverizado (Lignito)	EOR
	Appalachian Power	Grande	AEP, GE Energy, Bechtel Power	2012	IGCC	
	Archer Daniels Midland Phase III Injection Project	Demostrativo Pequeño	Archer Daniels Midland, Midwest Geological Sequestration Consortium	2010	Instalación de producción de etanol	Acuífero salino
	Barry	Demostrativo Pequeño	Southern Company, U.S. Department of Energy, Mitsubishi Heavy Industries, EPRI, SECARB	2011	Corriente proveniente de una planta eléctrica de carbón	Yacimiento salino profundo
	BP Carson (DF2)		Hydrogen Energy		A partir de coque de petróleo	EOR
	Cash Creek	Grande	Erora Group	2012	IGCC	EOR
	Coffeyville Fertilizer Plant	Grande	Coffeyville Resources		Planta de fertilizantes	EOR
	Cranfield		SECARB	2008-2009	Procesamiento de gas natural	Yacimiento salino
	Decatur	Demostrativo Pequeño	Midwest Geological Sequestration Consortium (Illinois State Geological Survey, Archer Daniels Midland Company, Schlumberger Carbon Services, USDOE National Energy Technology	2009	Producción de etanol	Yacimiento salino profundo

Folio No. 00292

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
			Laboratory)			
	Edwardsport	Grande	Duke Energy	2012	IGCC	Yacimiento salino profundo
	Entrada		SWP		Procesamiento de gas natural	Yacimiento salino
	FutureGen	Grande	FutureGen Industrial Alliance, U.S. Department of Energy	2012	IGCC	Yacimiento salino profundo
	Great Bend	Grande	AEP	2012	IGCC	EOR
	Great Lakes Energy Research Park	Grande	M&M Energy		IGCC	EOR
	HECA	Grande	Hydrogen Energy (Rio Tinto-BP Alternative Energy joint venture)	2014	IGCC	EOR
	Jamestown BPU	Demostrativo Pequeño	Jamestown BPU	2012-13	Oxy-fuel/Planta eléctrica de carbón pulverizado	
	Kemper county	Grande	Mississippi Power, Southern Company	2013	IGCC	EOR
	Kimberlina	Demostrativo Pequeño	CES	2010	Oxy-fuel	Formación de arenisca fuera de la costa
	Lima	Grande	Global Energy, Lima Energy Company	2010	IGCC	EOR
	Mesaba	Grande	Excelsior Energy	2012-13	IGCC	EOR
	R.E. Burger	Piloto Pequeño	BP, Powerspan	2008	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Acuífero salino profundo
	Raton Basin	Demostrativo	SWP	2012	Porcesamiento	Yacimiento salino

Folio No. 00293

País	Nombre del proyecto	Escala	Desarrolladores	Año	Tipo de instalación	Tipo de almacenamiento
		Pequeño			de gas	profundo
	Riley Ridge	Demostrativo Pequeño	Big Sky Regional Carbon Sequestration Partnership	2010	Producción de gas y helio	Acuífero salino profundo
	SCS Energy (Linden)	Grande	SCS Energy			Formación de arenisca fuera de la costa
	Tame	Demostrativo Pequeño	Midwest Regional Carbon Sequestration Partnership	2011	Producción de etanol	Yacimiento salino profundo
	Tenaska	Grande	Tenaska Inc	2014	Planta eléctrica supercrítica de carbón pulverizado	EOR
	TX Energy	Grande	TX Energy (subsidiary of Eastman Corp.), Green Rock Energy	2011	Instalación de producción de hidrógeno y gas de síntesis	EOR
	WA Parish	Grande	NRG Energy, Powerspan	2012	Planta eléctrica de carbón pulverizado	Campos petrolíferos/EOR
	Wallula Energy Resource Center	Grande	Wallula Resource Recovery LLC, Edison Mission Group	2013	IGCC	Formaciones basales
	Williston		PCOR	2009-2015	A partir de carbón	EOR
	ZENG Worsham-Steed	Demostrativo Pequeño	CO2-Global, Falcon Gas Storage		Oxy-fuel	EOR
	Great Plains Gasification Plant/Weyburn - Midale	Grande	EnCana, Apache Corp., Basin Electric Power Company	2000	Carbón a gasificación SNG	EOR

Fuente: CSLF, 2009.

Folio No. 00294

FÓRMULAS QUÍMICAS Y UNIDADES

µm	Micrómetro
As	Arsénico
C_2H_6	Etano
$Ca(OH)_2$	Hiróxido de calcio
$CaCO_3$	Carbonato de calcio
CaO	Óxido de calcio
$CaSO_4$	Sulfato de calcio
CH_4	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Bioxido de carbono
CO_2eq	Bióxido de Carbono Equivalente
COS	Sulfuro de carbonilo
DEA	Dietanolamina
DIPA	di – isopropanolamina
DMPEG	Éteres dimetílicos de polietilenglicol
$Fe(CO)_5$	Pentacarbonilo de hierro
FGD	Desulfuración de gases de combustión (Flue gas desulfurzation)
ft	Pie
g	Gramos
Gt	Giga tonelada
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hora
H_2O	Agua
H_2S	Sulfuro de hidrógeno
HC	Hidrocarburos
HCl	Cloruro de hidrógeno
HCN	Cianuro de hidrógeno
HF	Fluoruro de hidrógeno
HFCs	Hidrofluorocarbonos
Hg	Mercurio
kJ	kilo Joules
kl eo	Kilo litro de petróleo equivalente
km	Kilómetro
Kr	Criptón
kW	Kilowatt
kW	Kilowatts
kWh	Kilowatt hora
Li_4SiO_4	Silicato de litio
m	Metros

Folio No. 00295

MDEA	Metildietanolamina
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MEA	Monoetanolamina
MMPCD	Millones de pies cúbicos por día
MMPCSD	Millones de pies cúbicos estándar por día
Mpa	Mega Pascal
Mt	Millones de toneladas
MW	Megawatts
N_2	Nitrógeno
Ne	Neón
NF_3	Trifluoruro de nitrógeno
NH_3	Amoniaco
NH_4Cl	Cloruro de amonio
$Ni(CO)_4$	Carbonilo de níquel
NOx	Óxidos de Nitrógeno
O_2	Oxígeno
ºC	Grados Celsius
ºF	Grados Fahrenheit
Pb	Plomo
PFCs	perfluorocarbonos
PM	Material particulado (Particulate Matter)
ppm	Partes por millón
ppmdv	Partes por millón por volumen
SF_6	Hexafluoruro de azufre
SO_2	Bióxido de azufre
SO_3	Trióxido de azufre
t	Tonelada
t/d	Toneladas diarias
t/h	Toneladas por hora
tCO_2	Toneladas de CO_2
toe	Tonelada de petróleo equivalente (*Tonne of oil equivalent*)
Xe	Xenón

Folio No. 00296

BIBLIOGRAFÍA

- ADOLPH, B.; BRADY, J.; FLAUM, C.; MELCHER, C.; VITTACHI A. (1994) Saturation monitoring with the RST Reservoir Saturation Tool, *Oilfield Review Schlumberger*, 6, 38 – 39.
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2007) *Fossil fuel – fired power generation. Case studies of recently constructed coal – and gas – fired power plants*
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2007a) *IEA Energy Technology Essentials. Biomass for Power Generation and CHP*, OECD/IEA
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2007b) *IEA Energy Technology Essentials. Fuel Cells*, OECD/IEA
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2008) *Combined Heat and Power. Evaluating the benefits of greater global investment*, OECD/IEA
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2008a) *The International CHP/DHC Collaborative Country Scorecard: United States*, OECD/IEA
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2008b) *The International CHP/DHC Collaborative Country Scorecard: Finland*, OECD/IEA
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2008c) *The International CHP/DHC Collaborative Country Scorecard: Japan*, OECD/IEA
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2008d) *The International CHP/DHC Collaborative Country Scorecard: China*, OECD/IEA
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2009) How the Energy Sector Can Deliver on a Climate Agreement in COP 15. Special early excerpt of the World Energy Outlook 2009 for the Bangkok UNFCC meeting.
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2010) Energy Efficiency: Policy and Measures.
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2010a) Addressing Climate Change Policies and Measures. [En Línea] Disponible en: http://www.iea.org/textbase/pm/index_clim.html
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (2010b) Global Renewable Energy Database: Policies and Measures. [En Línea] Disponible en: http://www.iea.org/textbase/pm/?mode=re
- ANDRUS, E.; CHIU, J.; THIBEAULT, P.; BRAUTSCH, A. (2009) Alstom's Calcium Oxide Chemical Looping Combustion Coal Power Technology Development. En: The 34th International Technical Conference on Clean Coal and Fuel Systems, Clearwater, Florida, Mayo 31 a Junio 4 de 2009.
- APACHE CORPORATION. (2008) Enhanced oil recovery and carbon capture and storage. [Online] Disponible en: http://www.apachecorp.com/Operations/Canada/Stewardship/EOR.aspx
- APV (2010) Tube in Tube Heat Exchangers. [En Línea] Disponible en: http://www.apv.com/us/products/heatexchangers/tubularheat/Tubular+heat+exchangers.asp
- ASANO, N. (2009) Japan's Strategies to Combat Global Warming - An Environmental Policy Perspective- Fukuoka University.

Folio No. 00297

- BAUKAL, C.E. (2004) *Industrial Burners Handbook*, Estados Unidos de Norteamérica, Estados Unidos, CRC Press (ed.).
- BEATY, H.W. Y KIRTLEY, J.L. (1998) *Electric Motor Handbook*, Estados Unidos, McGraw Hill.
- BENSON, S.M.; PRUESS, K. Y DOUGHTY, C., (2005) Pressure measurements and buildup analysis at the Frio Brine Pilot, En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005), GCCC Digital Publication Series #05-04a
- BLOCH, H. (2006) *A practical guide to compressor technology*, Estados Unidos, John Wiley and Sons, Inc.
- BLUESOURCE. (2009) Val Verde. [En Línea] Disponible en: http://www.ghgworks.com/4c-valverde.html
- BRITISH PETROLEUM (2010) Refineries. [En Línea] Disponible en: http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9030203&contentId=7055766#7205730
- BUREAU OF ECONOMIC GEOLOGY. (2009) Field Experiment for CO_2 Sequestration. [En Línea] Disponible en: http://www.beg.utexas.edu/environqlty/co2seq/fieldexperiment.htm
- CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD (2010) Industrial Boilers. [En Línea] Disponible en: http://www.arb.ca.gov/training/courses.php?course=273
- CENTRO MARIO MOLINA PARA ESTUDIOS ESTRATÉGICOS SOBRE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE A.C. (2008), *Estrategias de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Eléctrico. Estudios Sectoriales de Mitigación de Cambio Climático*
- CENTRO MARIO MOLINA PARA ESTUDIOS ESTRATÉGICOS SOBRE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE A.C. (2009), *Proyecto Demostrativo para Generar Energía Eléctrica a partir de Combustibles Fósiles Libre de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*
- CENTRO MARIO MOLINA PARA ESTUDIOS ESTRATÉGICOS SOBRE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE A.C. (2009a) *Estrategia Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.*
- CIFERNO, J. P., FOUT T. E., JONES A. P., MURPHY J. T. (2009) Capturing Carbon from Existing Coal – Fired Power Plants, CEP Magazine, 33.
- CLASP (2010) The Summary Table of S&L Programs Worldwide, Energy Efficiency Standards and Labeling Program.
- CO_2 CAPTURE PROJECT (2010) About CO_2 Transport. [Online] Disponible en: http://www.co2captureproject.com/about_transport.html Collins D. J., (2005) From Concept to Reality: A systematic management approach for field implementation of the Frio Brine Pilot Test, En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005
- COMISIÓN EUROPEA (2010) Climate Action. [En Línea] Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/climat/home_en.htm
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL USOS EFICIENTE DE LA ENERGÍA (2009) *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012*, México

- COMISIÓN NACIONAL PARA EL USOS EFICIENTE DE LA ENERGÍA (2009a) Situación Actual de la Cogeneración en México, En: *Seminario sobre Eficiencia Energética, Energías Renovables y MDL*, México D.F. 18 y 19 de Noviembre de 2009.
- COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR GREENHOUSE GAS TECHNOLOGIES CO_2 CRC (2010) Capture. [En línea] Disponible en http://www.co2crc.com.au/aboutgeo/capture.html#giga
- DALEY, T.M., ET AL (2007) Time – lapse crosswell seismic and VSP monitoring of injected C_{O2} in a brine aquifer, *Environ. Geol*.
- DALEY, T.M.; MYER L.R., HOVERSTEN G.M.; PETERSON J.E. (2005) Borehole seismic monitoring of injected CO_2 at the Frio site, En: *AGU Fall Meeting (*2005).
- DE WINTER ENGINEERING (2010) Furnace Pressure Control. [En Línea] Disponible en: http://dewinterengineering.com/furnace-pressure-control.htm
- DOE/NETL (2007) *Cost and performance baseline for fossil energy plants. Volume 1: Bituminous coal and natural gas to electricity.*
- DOUGHTY, C.; PRUESS, K.; BENSON, S. M.; (2005) Flow modeling for the Frio Brine pilot, En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005.
- EC – ASEAN COGEN PROGRAMME (COGEN3) (2003), *Technical Report. Available Cogeneration Technologies in Europe*
- EDISON MISSION ENERGY (2010) Watson. [En Línea] Disponible en: http://www.edison.com/ourcompany/eme.asp?id=1651
- EHCA. (2009) Hydrogen Energy California. [En Línea] Disponible en: http://www.hydrogenenergycalifornia.com
- ENERGY – ENVIRO FINLAND (2010) Combined heat and power. [En Línea] Disponible en: http://www.energy-enviro.fi/index.php?PAGE=2286&NODE_ID=2286&LANG=1
- ERICKSEN E. (1999) *Petroleum Project Fact Sheet: A Motor Challenge Succes Story*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO (US), Estados Unidos.
- EURLINGS, J.; PLOEG, J.; (1999), Process performance of the SCGP at Buggenum IGCC, En: *Gasification Technologies Conference*, San Francisco, California, 18 – 20 deOctubre 1999
- EXXONMOBIL (2010) News. [En Línea] Disponible en: http://www.exxonmobil.com/corporate/news_features_20090601_antwerp.aspx
- FIGUEROA, J. D.; FOUT, T.; PLASYNSKI, S.; MCILVRIED, H. Y SRIVASTAVAM, R. (2007) Advances in CO_2 capture technology – The U.S. Department of Energy´s Carbon Sequestration Program, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2, 9.
- FREIFELD, B.M.; DALEY, T.M.; HOVORKA, S.D.; HENNINGES, J.; UNDERSCHULTZ, J.; SHARMA, S. (2008) Recent advances in well-based monitoring of CO_2 sequestration, En: *9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Washington DC,Noviembre 16-20, 2008), GCCC Digital Publication Series #08-03f
- FREIFELD, B.M.; DALEY, T.M.; KHARAKA Y. K. (2006) Frio I and II Preliminary results of combined well based geophysical and geochemical monitoring methods, En: *IEA GHG 3rd Meeting of the Monitoring Network*

- FREIFELD, B.M.; TRAUTZ, R.C.; KHARAKA, Y.K.; PHELPS, T.J.; MYERS, L.R.; HOVORKA, S.D.; COLLINS, D.J. (2005) The U – Tube: A novel system for sampling and analyzing multiphase borehole fluid samples during the Frio Brine test, En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005.
- GARCÍA, G.S. Y FRAILE, C.D. (2006) *Cogeneración: diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración*, España, Días de Santos
- GOBIERNO DE BRASIL. (2000) LEI No 9.991, DE 24 DE JULHO DE 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, ermissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências.
- GOBIERNO DE BRASIL. (2002) LEY N º 214 de 2004 MPV Prevé la introducción de biodiesel en la matriz de De energía en Brasil; y da otras medidas.
- GOBIERNO DE BRASIL. (2007) Interministerial Committee on Climate Change Decree No. 6263 of November 21, 2007 EXECUTIVE SUMMARY NATIONAL PLAN ON CLIMATE CHANGE.
- GOBIERNO DE BRASIL. (2009) LAW NO. 12,187, OF 29TH DECEMBER 2009. Institutes the National Policy on Climate Change- PNMC and makes other provisions.
- GOBIERNO DE BRASIL. (2009) LEY NO. 12114, de 9 de diciembre de 2009. Crea el Fondo Nacional sobre el cambio climático, modifica el art. 6 y 50 de la Ley 9478 de 06 de agosto de 1997, y hace las demás disposiciones
- GOBIERNO DE BRASIL. (2009) The Amazon Fund.
- GOBIERNO DE CANADÁ (2009) Statement Canada's National Statement at Cop 15.
- GOBIERNO DE CANADÁ (2010) Canada's Action on Climate Change.
- GOBIERNO DE CHINA (2007) China's National Climate Change Programme. Prepared under the Auspices of National Development and Reform Commission People's Republic of China
- GOBIERNO DE CHINA (2007) China's Scientific & Technological Actions on Climate Change
- GOBIERNO DE CHINA (2007) China's Energy Conditions and Policies Information Office of the State Council of the People's Republic of China.
- GOBIERNO DE INDIA (2007) India: Addressing Energy Security And Climate Change. Ministry of Environment & Forests. Ministry of Power Bureau of Energy Efficiency.
- GOBIERNO DE INDIA (2008) National Climate Change Plan.
- GOBIERNO DE JAPÓN (2008) Top Runner Program.
- GOBIERNO DE JAPÓN (2009) Japan Energy Conservation Handbook.
- GUZMÁN, A. (2001) Exploration and Production in Mexico Challenges and Opportunities, En: AAPG Prospect and Property Expo, Texasa, Agosto 28, 2001
- HANNEMANN, F.; SCHIFFERS, U.; KARG, J.; KANAAR, M. (2002) V94.2 Buggenum Experience and Improved Concepts for Syngas Application, En: *Gasification Technologies Conference*, San Francisco, California, 27 – 30 Octubre 2002.
- HEGGELUND, G. (2007) CHINA'S CLIMATE CHANGE POLICY: DOMESTIC AND INTERNATIONAL DEVELOPMENTS. Asian Perspetives.

- HERMANRUD, C.; ANDRESEN, T.; ET AL. (2008) Storage of CO_2 in saline aquifers-Lessons learned from 10 years of injection into the Utsira formation in the Sleipner Area, En: *9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Washington DC,Noviembre 16-20, 2008), 1997-2004.
- HERZOG, H. (2009), Carbon Dioxide Capture and Storage. En: Helm, D. y Hepburn, C. (Ed.) *The Economics and Politics of Climate Change*, Oxford University Press
- HERZOG, H.; MELDON, J.; HATTON, A. (2009a) Advanced Post Combustion CO_2 Capture
- HIGMAN, C. Y VAN DER BURGT, M. (2008) *Gasification*, Segunda edición, Estados Unidos de Norteamérica, Elsevier Inc.
- HOVORKA S.D. (2003) *Report to the Texas Commission on Environmental Quality to Accompany a Class V Application for an Experimental Technology Pilot Injection Well*
- HOVORKA, S. D.; BENSON S.; MYER, L. (2005) Frio Brine: Lessons learned and questions restated. En: *Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005
- HOVORKA, S.D. (2009) Monitoring and verification issues for carbon storage pilot experiments. [En línea] Disponible en http://www.beg.utexas.edu/environqlty/co2seq/pubs_presentations/MonitoringVerification.pdf
- HOVORKA, S.D. (2009a) Monitoring CO_2 storage in brine formations: Lessons learned from the Frio Brine test one year post injection. [En línea] Disponible en http://www.beg.utexas.edu/environqlty/co2seq/publications.htm
- HOVORKA, S.D. (2009b) Testing geologic sequestration of carbon – Put it back. [En línea] Disponible en: http://www.edf.org/documents/7694_Hovorka_Testing_Geologic_Sequestration.pdf
- HOVORKA, S.D., COLLINS, D., BENSON, S., MYER, L., BYRER, C., COHEN, K. (2005b), Update on the Frio Brine Pilot: eight months after injection, En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005, GCCC Digital Publication Series #05-04i
- HOVORKA, S.D.; DOUGHTY, C.; HOLTZ, M. H. (2004) Testing efficiency of Storage in the Subsurface: Frio Brine Pilot Experiment. En: *7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*,Vancouver, Canadá, Septiembre 5–9, GCCC Digital Publication Series #04-01
- IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME (2010) CO_2 Capture and Storage. [En línea] Disponible en http://www.co2captureandstorage.info/project_specific.php?project_id=26
- IN SALAH CO_2 (2010) In Salah CO_2. [En línea] Disponible en www.insalahco2.com
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION (2009) *Cogeneration – Opportunities in the World Sugar Industries*
- IPIECA (2007) *Saving Energy in the Oil and Gas Industry*
- ISO (2010) International Standards practical tools for addressing climate change

- ISTOCKANALYST (2010) Bow City Power project plans to move forward with the incorporation of carbon capture and storage. [En línea] Disponible en http://www.istockanalyst.com/article/viewiStockNews/articleid/2479381
- JACKSON SCHOOL OF GEOSCIENCES UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN (2009) Bow City Power project plans to move forward with the incorporation of carbon capture and storage. [En línea] Disponible en http://www.jsg.utexas.edu/news/feats/2006/frio.html
- JAEGER, H. (2005) Japan 250MW coal based IGCC demo plant set for 2007 start up, *Gas Turbine World*, 31, 2.
- JOBBER, R. (2008) US Climate Legislation. A Brief History. IN LONDON, D. B. A. (Ed.).
- KAKAÇ S. Y LIU H. (2002), *Heat Exchangers. Selection, Rating, and Thermal Design*, Segunda edicion, Estados Unidos, CRC Press
- KALYANARAMAN, K. (2006) IGCC: The race is on. Turbine EOMS target performance and financial and performance goals using in – house gasification processes, *Turbomachinery International*, 6
- KOCH (2010) Twisted Tube Heat Exchangers. [En Línea] Disponible en: http://www.kochheattransfer.com/cp/UserFiles/articles/twist_bro.pdf
- KOCH (2010a) Design and Application of Twisted Tube Exchangers. [En Línea] Disponible en: http://www.kochheattransfer.com/cp/UserFiles/articles/design-app-tt.pdf
- KOPP, R. (2007) Assessing U.S. Climate Policy options. A report summarizing work at RFF as part of the inter-industry U.S. Climate Policy Forum. Executive Summary and Overview.
- KREITH, F. Y GOSWAMI, D.Y. (2007), *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy*, Estados Unidos, CRC Press
- KUTZ, M. (2007) *Environmentally Conscious Alternative Energy Production*, Estados Unidos, John Wiley and Sons. Inc
- LARSEN, J. (2009) Emission Reductions Under Cap & Trade Proposals In The 111th Congress. World Resources Institute.
- LURGI (2010) Lurgi's leading technology for purification and conditioning of synthesis gas. [En línea] Disponible en http://www.lurgi.com/website/fileadmin/user_upload/1_PDF/1_Broshures_Flyer/englisch/0308e_Rectisol.pdf
- MCCALLUM, S.D.; RIESTENBERG, D.E.; COLE, D.R.; FREIFELD, B.M.; TRAUTZ, R.C.; HOVORKA, S.D. (2005) Monitoring geologically sequestred CO_2 during the Frio Brine pilot test using perfluorocarbon tracers, En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005
- MERTZ, B.; DAVIDSON, O.; DE CONINCK, H.; LOOS, M.; MEYER, L. (2005) *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, Canadá, Cambridge University Press
- MILLER, B.G. (2005), *Coal energy systems*, Estados Unidos, Elsevier Inc.

Folio No. 00302

- MIT (2007) Assessment of US Cap-and-Trade Proposals. IN CHANGE, MIT Joint Program on Science and Policy of Global Change. Report No. 146. Cambridge, Mass.
- MIT (2007a), *The future of coal. Options for a carbon – constrained world*
- MIT (2010) Carbon capture and sequestration technologies. [En línea] Disponible en http://sequestration.mit.edu/
- MIT (2010a) MIT Cogeneration Project. [En Línea] Disponible en: http://cogen.mit.edu/
- MIT (2010b) News, MIT students seek to harness waste heat. [En Línea] Disponible en: http://web.mit.edu/newsoffice/2008/thermo-0724.html
- MOKHATAB, S.; POE, W.A.; SPEIGHT J.G. (2006), *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*, Estados Unidos, Elsevier Inc.
- NANCE, H.S.; RAUCH, H.; STRAZISAR, B.; WELLS, A.; DIEHL, R.; KLUSMAN, R.; LEWICKI, J.; OLDENBURG, C.; YOUSIF, K.; KHARAKA, Y.K.; KAKOUROS, E. (2005), Surface environmental monitoring at the Frio CO_2 sequestration test site, Texas , En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005
- NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (2009) Lurgi's leading technology for purification and conditioning of synthesis gas. [En línea] Disponible en http://www.lurgi.com/website/fileadmin/user_upload/1_PDF/1_Broshures_Flyer/englisch/0308e_Rectisol.pdf
- NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (2010) Industrial Technologies Program. CEMEX: Cement manufacturer saves 2.1 Million kWh with a Motor Retrofit Project. [En Línea] Disponible en: http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/38223.pdf
- NATURAL GAS (2010) Electric Generation Using Natural Gas. [En Línea] Disponible en: http://www.naturalgas.org/overview/uses_eletrical.asp
- NEDO (2008) *Japanese Technologies for Energy Savings/GHG Emissions Reduction 2008 Revised Edition*
- OECD/IEA (2008) *CO_2 Carbon Capture and Storage. A key carbon abatement option*
- PARIKH, J. K. (2002) CLIMATE CHANGE: INDIA'S PERCEPTIONS, POSITIONS, POLICIES AND POSSIBILITIES. IN OECD (Ed.).
- PARKER INDUSTRIAL BOILER (2010) Deaeraters. [En Línea] Disponible en: http://www.parkerboiler.com/feedwater-deaerators/feedwater_deaerators.htm
- PEMEX (2010) Activos Integrales de PEMEX [En línea] Disponible en http://www.pemex.com
- PEMEX (2010b) Eficiencia Energética. [En Línea] Disponible en: http://desarrollosustentable.pemex.com/portal/index.cfm?action=content&sectionID=44&catID=884&contentID=469
- PERRY R.H., GREEN D.W. (2001), *Perry's Chemical Engineers Handbook*, Séptima Edición, Estados Unidos, McGraw Hill
- PEW CENTER (2007) CLIMATE CHANGE MITIGATION MEASURES IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA.

- PEW CENTER (2009) Comparison of Actual and Projected Fuel Economy for New Passenger Vehicles.
- PEW CENTER (2010a) Climate Action in Congress.
- PEW CENTER (2010b) Renewable & Alternative Energy Portfolio Standards.
- RACKLEY S.A. (2010), *Carbon Capture and Storage*, Estados Unidos de Norteamérica, Elsevier Inc.
- REZAIYAN, J. Y CHEREMISINOFF, N.P. (2005), *Gasification technologies. A prime for engineers and scientists*, Estados Unidos de Norteamérica, Taylor & Francis Group,
- ROBSON INDUSTRIES INC. (2010) Plate and Frame Heat Exchanger Maintenance. [En Línea] Disponible en: http://www.robsonind.com/news/ ALFA LAVAL (2010) Packinox. [En Línea] Disponible en: http://www.alfalaval.com/
- SABUGAL G.S. (2006) *Centrales térmicas de ciclo combinado. Teoría y Proyecto*, España, Díaz de Santos S.A.
- SAMUELSOHN, D. (2009) What Will U.S. Climate Legislation Look Like Scientific American.
- SESSA, R. E. A. (2008) Systemic Observation for Assessing Mitigation and Adaptation to Climate Change. ISO Focus February.
- STANFORD UNIVERSITY. Global Climate and Energy Project, An Assessment of Carbon Capture Technology and Research Opportunities, 2005
- STATOIL (2008) Carbon Capture Started on Snøhvit. [En línea] Disponible en http://www.statoil.com/en/NewsAndMedia/News/2008/Pages/CarbonStorageStartedOnSn%C3%B8hvit.aspx
- STATOIL (2010) Sleipner vest. [En línea] Disponible en http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/ProtectingTheEnvironment/CarboncaptureAndStorage/Pages/CarbonDioxideInjectionSleipnerVest.aspx
- Strömberg, L., et al. (2009) Update on Vatenfall's 30 MWth Oxyfuel Pilot Plant in Schwarze Pumpe, *Energy Procedia*,1, 581 – 589
- TOTAL (2005) *Sharing our Energies, Corporate Social Responsibility Report 2005*
- TOTAL (2010) Normandy Refinery. [En Línea] Disponible en: http://www.total.com/en/our-energies/oil/processing/projects-and-achievements/normandy-refinery-940869.html
- TRAUTZ, R.; FREIFELD, B.; DOUGHTY, C. (2005) Comparison of single and multiphase tracer test, En: *National Energy Technology Laboratory Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration*, Alexandria, Virginia, Mayo 2-5, 2005
- TREVIÑO C.M., *Tecnología de gasificación integrada en ciclo combinado GICC. Aplicación real en España: ELCOGAS. Puertollano*, España, ELCOGAS S.A. Club Español de la energía
- TURNER, W.C. Y DOTY, S. (2006), *Energy Management Handbook*, Sexta edición, Estados Unidos, Fairmont Press Inc.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2010) Fuel Cells. [En Línea] Disponible en:http://fossil.energy.gov/programs/powersystems/fuelcells/fuelcells_solidoxide.html
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2010a) Fuel Cells. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2010b) Fuel Cells. [En Línea] Disponible en: http://fossil.energy.gov/programs/powersystems/fuelcells/fuelscells_phosacid.html
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2010c) Fuel Cells. [En Línea] Disponible en: http://fossil.energy.gov/programs/powersystems/fuelcells/fuelcells_moltencarb.html
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY / ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2003) *Improving Compressed Air System Performance a Sourcebook for industry*, Estados Unidos.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY / ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2004) *Improving Steam System Performance a Sourcebook for industry*, Estados Unidos.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY / ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2008) *Improving Process Heating System Performance a Sourcebook for industry*, Estados Unidos.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY / ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2008a), *Improving Motor and Drive System Performance a Sourcebook for industry*, Estados Unidos.
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (1999) Georgia Pacific's Insulation Upgrade Leads to Reduced Fuel Costs and Increased Process Efficiency. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/insulation.pdf
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2001) Compressed air system upgrade improves production at a steel mill. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/ussteel.pdf
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2002) Additional Steam Traps Increase Production of a Drum Oven at a Petroleum Jelly Plant. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/nigeria.pdf
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2002a) Compressed air system retrofit increases productivity at a petroleum packaging facility. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/petrol_cs_mobilvernon.pdf
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2002b) Optimizing electric motor system at a corporate campus facility. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/ch_cs_3m.pdf
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2003) Lehigh Southwest Cement Company: Compressed air system improvement saves energy at a Lehigh Southwest Cement Plant. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/bp_cs_lehigh.pdf
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2004) Procter & Gamble: Compressed air system upgrade saves energy and improves production at a paper mill. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/bp_cs_procter_gamble.pdf
- U.S. DOE ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (2005) J.R. Simplot: Burner Upgrade Project Improves Performance and Saves Energy at a Large Food Processing Plant. [En Línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/simplot.pdf

Folio No. 00305

- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2008) *Technology Characterization: Fuel Cells*
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2008a) *Technology Characterization: Steam turbines*
- US HOUSE OF REPRESENTATIVES, Committee on Energy and Commerce. (2009) Chairmen Waxman, Markey Release Discussion Draft of New Clean Energy Legislation. IN ADVISORIES, P.-M. (Ed.).
- VATENFALL (2010) Illustrations. [Online] Disponible en: http://www.vattenfall.com/en/ccs/illustrations.htm
- WILSON M., MONEA M. (2004) IEA GHG Weyburn CO_2 monitoring and storage project summary report 2000 – 2004. En: *Proceedings of the 7th international conference on greenhouse gas control technologies*, Canadá, 5 – 9 de septiembre 2004 (Ed.)
- WILSON, M. Y MONEA M. (2004) IEA GHG Weyburn CO_2 Monitoring and Storage Project Summary Report 200 – 2004, PTCR, IEA Greenhouse Gas R & D Programme (Ed.)
- WOODRUFF, E.B., ET AL. (1992), *Steam plant operation*, Estados Unidos, McGraw – Hill
- WORLEY PARSONS SERVICES PTY LTD (2009), *Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture and Storage. Economic Assessment of Carbon Capture and Storage Technologies,* Global CCS Institute, Reporte número 2
- WORRELL, E.; PRICE, L.; GALITSKY; C. (2004) *Emerging Energy – Efficient Technologies in Industry: Case Studies of Selected Technologies*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley.

Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.
Paseo de los Laureles No 458 Int. 406
Col. Bosques de las Lomas
C.P. 05120
México, D.F.
T: (+55) 9177.1670
F: (+55) 9177.1690
www.centromariomolina.org

Folio No. 00307